

**ANÁLISIS ESPACIO TEMPORAL DEL USO DEL SUELO Y SUS EFECTOS EN EL  
CLIMA LOCAL Y LA OFERTA HÍDRICA EN LA CUENCA DEL RÍO CANALETE,  
CÓRDOBA – COLOMBIA**



**TRABAJO DE GRADO  
NESTOR SUAREZ SOTO**

**UNIVERSIDAD DE CORDOBA  
MAESTRIA EN CIENCIAS AMBIENTALES SUE-CARIBE  
MONTERIA – CORDOBA  
SEPTIEMBRE 2019**

**ANÁLISIS ESPACIO TEMPORAL DEL USO DEL SUELO Y SUS EFECTOS EN EL  
CLIMA LOCAL Y LA OFERTA HÍDRICA EN LA CUENCA DEL RÍO CANALETE,  
CÓRDOBA – COLOMBIA**



**NESTOR SUAREZ SOTO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
Magister en Ciencias Ambientales**

**Director:**

**TEOBALDIS MERCADO FERNANDEZ**

**PhD Hidrociencias**

**UNIVERSIDAD DE CORDOBA**

**MAESTRIA EN CIENCIAS AMBIENTALES SUE-CARIBE**

**MONTERIA CORDOBA**

**SEPTIEMBRE 2019**

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Montería, Córdoba, mayo de 2020.

## **DEDICATORIA**

## **AGRADECIMIENTOS**

### **Agradecimientos especial a:**

*La Universidad de Córdoba, por la oportunidad brindada de alcanzar los estudios superiores y contribuir a la formación como profesional.*

*El Ingeniero Agrónomo, PhD Hidrociencias Dr. Teobaldis Mercado Fernández por su instrucción, Recomendaciones y grandes aportes de conocimientos en la culminación de esta investigación.*

### **Agradecimientos:**

*A los jurados por su dedicación para evaluar y realizar las respectivas correcciones y aportes necesarios en la presente investigación.*

## TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA .....	IV
AGRADECIMIENTOS .....	V
RESUMEN .....	6
1. INTRODUCCION .....	8
2. OBJETIVOS .....	15
2.1. Objetivo general .....	15
2.2. Objetivos específicos.....	15
3. MARCO TEORICO.....	16
3.1. Antecedentes .....	16
3.2. Marco conceptual .....	20
3.2.1. El ciclo hidrológico.....	20
3.2.2. Oferta hídrica. ....	21
3.2.3. Cambio climático.....	21
3.2.4. Teledetección aplicada al medio ambiente. ....	22
3.2.5. Imagen satelital. ....	23
3.2.6. El uso del suelo. ....	24
3.2.7. Cuenca hidrográfica. ....	25
3.2.8. Demanda y abastecimiento de agua en Colombia. ....	25
3.2.9. Influencia del fenómeno ENSO.....	26
4. MATERIALES Y METODOS.....	28
4.1. Área de estudio.....	28
4.2. Diseño metodológico.....	29
4.2.1. Estimación de los cambios del uso del suelo en la cuenca del río Canalete utilizando la metodología CORINE Land Cover.....	29
4.4.2. Cálculo de la variabilidad temporal existente del clima en la cuenca del río Canalete. ....	35
4.4.3. Análisis del comportamiento de las diferentes variables climáticas afectadas por la evolución de la dinámica de la modificación del uso del suelo en la cuenca del río Canalete .....	38
5. RESULTADOS Y DISCUSION .....	43
5.1. Cambio de uso del suelo en la cuenca del río Canalete para el periodo 1972-2017. ....	43

5.1.2. Variación en las coberturas de uso del suelo en la cuenca del río Canalete. ....	45
5.1.3. Efectos del cambio de uso de suelo sobre la cuenca. ....	47
5.2. Variación temporal del clima en la cuenca del río Canalete. ....	47
5.2.1. Comportamiento de la precipitación. ....	48
5.2.2. Comportamiento de la temperatura. ....	59
5.2.3. Comportamiento de la humedad relativa. ....	65
<i>Figura 24.</i> Comportamiento de la humedad relativa para la estación Turipana. ....	71
5.2.4. Comportamiento de la evapotranspiración potencial (ETP). ....	72
5.3. Relación entre los cambios de uso del suelo y la variación climática en la cuenca del río Canalete. ....	78
5.3.1. Correlaciones para la cobertura tipo bosque. ....	82
5.3.2. Correlaciones para la cobertura tipo pasto. ....	86
5.3.3. Correlaciones para la cobertura de vegetación secundaria. ....	88
6. CONCLUSIONES .....	90
7. RECOMENDACIONES .....	92
REFERENCIAS .....	94
ANEXO 1 .....	103
ANEXO 2 .....	105

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Asignación de puntos de muestreo para validación en la clasificación por tipo de cobertura. ....	32
Tabla 2. Verificación en campo de cada punto de muestreo identificado. ....	33
Tabla 3. Valores medios para una red mínima funcional .....	35
Tabla 4. Estaciones meteorológicas con influencia en la cuenca del río Canalete. ....	36
Tabla 5. Interpretación de los diferentes de valores del coeficiente de correlación. ....	39
Tabla 6. Distribución de áreas de influencia para las seis estaciones en la cuenca del río Canalete. ....	41
Tabla 7. Distribución de áreas de influencia para las tres estaciones en la cuenca del río Canalete. ....	42
Tabla 8. Áreas para cada cobertura en cada periodo analizado. ....	43
Tabla 9. Variaciones de las coberturas para cada periodo analizado. ....	45
Tabla 10. Variación total de las coberturas para el periodo analizado, 1973 - 2017. ....	46
Tabla 11. Correlaciones promedio entre la cobertura de bosque y las medias de las variables climáticas. ....	85
Tabla 12. Correlaciones promedio entre la cobertura de pastos y las medias de las variables climáticas. ....	87
Tabla 13. Correlaciones promedio entre la cobertura de vegetación secundaria y las medias de las variables climáticas. ....	89

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Anomalías de temperatura de superficie del mar (° C) registradas en el Pacifico tropical (1972-2017). ....	27
Figura 2. Cuenca del río Canalete. (CVS & UPB, 2008). ....	28
Figura 3. Imagen de los puntos de muestreo utilizados para verificación en terreno. ....	34
Figura 4. Ubicación de estaciones meteorológicas con influencia en la cuenca del río Canalete. ....	36
Figura 5. Distribución de los polígonos de Thiessen para seis estaciones en la cuenca del río Canalete. ....	40



Figura 6. Distribución de los polígonos de Thiessen para tres estaciones en la cuenca del río Canalete.....	41
Figura 7. Variación temporal de las coberturas sobre la cuenca del río Canalete. ....	44
Figura 8. Comportamiento de la evolución de la modificación de coberturas 1973 -2017 .....	46
Figura 9. Comportamiento de precipitación promedios mensuales multianuales de las estaciones en el área de influencia de la cuenca del río Canalete. ....	48
Figura 10. Comportamiento de la precipitación para cada estación en el periodo 1972-2017.....	49
Figura 11. Comportamiento de la precipitación para la estación Arboletes. ....	51
Figura 12. Comportamiento de la precipitación para la estación Canalete.....	53
Figura 13. Comportamiento de la precipitación para la estación Cristo Rey. ....	54
Figura 14. Comportamiento de la precipitación para la estación Jaramagal. ....	56
Figura 15. Comportamiento de la precipitación para la estación San Juan de Urabá.....	57
Figura 16. Comportamiento de la precipitación para la estación Turipaná. ....	59
Figura 17. Variación en la temperatura para las estaciones de Arboletes, Turipaná y Cristo Rey durante el periodo 1972-2017. ....	60
Figura 18 Comportamiento de la temperatura para la estación Arboletes.....	62
Figura 19. Comportamiento de la temperatura para la estación Cristo Rey. ....	63
Figura 20. Comportamiento de la Temperatura para la estación Turipana.....	65
Figura 21. Variaciones de la humedad relativa para las estaciones de Arboletes, Cristo Rey y Turipaná para el periodo 1972-2017.....	66
Figura 22. Comportamiento de la humedad relativa para la estación Arboletes. ....	68
Figura 23. Comportamiento de la humedad relativa para la estación Cristo Rey.....	69
Figura 24. Comportamiento de la humedad relativa para la estación Turipana. ....	71
Figura 25. Variaciones en la ETP para las estaciones de Arboletes, Cristo Rey y Turipaná para el periodo 1972-2017.....	73
Figura 26. Comportamiento de la evapotranspiración potencial para la estación Arboletes.....	75
Figura 27. Comportamiento de la evapotranspiración potencial para la estación Cristo Rey. ....	76
Figura 28. Comportamiento de la evapotranspiración potencial para la estación Turipana. ....	78
Figura 29. Comportamiento de la precipitación y la pérdida acumulada de bosques.....	79
Figura 30. Comportamiento de la temperatura y la pérdida acumulada de bosques. ....	80
Figura 31. Comportamiento de la humedad relativa y la pérdida acumulada de bosques.....	81

Figura 32. Comportamiento de la evapotranspiración potencial y la pérdida acumulada de bosques.....	82
Figura 33. Correlación estadística promedio encontrada para la cobertura de bosques. ....	85
Figura 34. Correlación estadística promedio encontrada para la cobertura de pastos. ....	87
Figura 35. Correlación estadística promedio encontrada para la cobertura de vegetación secundaria. ....	89

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Mapa de ubicación de estaciones meteorológicas con influencia en la cuenca del río Canalete.

Anexo 2. Mapas de variación temporal de las coberturas sobre la cuenca del río Canalete.

## RESUMEN

Las acciones antrópicas inadecuadas han afectado la vegetación, las variables climáticas y el régimen hidrológico de una región. El propósito de esta investigación es analizar la relación existente de los cambios en la cobertura vegetal y las características climáticas de la cuenca del río Canalete, en el departamento de Córdoba, usando la metodología CORINE Land Cover (CLC) adaptada para Colombia, para cuantificar mediante imágenes satelitales los cambios de coberturas vegetales en toda el área de la cuenca (pastos, bosques, vegetación secundaria). El análisis se hizo a partir de las variables de precipitación, temperatura, humedad relativa y evapotranspiración potencial, obtenidas de estaciones meteorológicas ubicadas en el área de influencia de la cuenca del río Canalete para el periodo de 1972-2017.

El análisis mostró, que de los 916,5 km<sup>2</sup> de la cuenca del río Canalete, para el periodo analizado, el área de cobertura de pastos pasó de 129,01 km<sup>2</sup> a 653,4 km<sup>2</sup> incrementando en un 392,5%, mientras que el área de cobertura de bosques se redujo en 62,1%, pasando de 232,8 km<sup>2</sup> a 88,2 km<sup>2</sup> al igual que la vegetación secundaria decreció en un 44,6%, pasando de 336,8 km<sup>2</sup> a 186,6 km<sup>2</sup>. En cuanto al clima, se observaron aumentos generalizados en las variables de temperatura media con incrementos de hasta 1,84 °C y evapotranspiración potencial con incrementos de hasta 7,9 mm.

Los resultados de las correlaciones entre la modificación de las coberturas con las variables climáticas, mostraron que con el incremento de la cobertura de pastos, existe una correlación alta tendiendo a perfecta con las variables climáticas de temperatura media, ETP y humedad relativa con valores de  $r = 0,96$ ,  $R^2 = 0,93$ ;  $r = 0,88$ ,  $R^2 = 0,78$  y ;  $r = 0,81$ ,  $R^2 = 0,66$  respectivamente, que al ser positiva su relación es directamente proporcional, es decir, que al incrementar el área de pastos se incrementó el valor medio de estas variables climáticas en la cuenca. En contraposición la

cobertura de bosque presentó una correlación negativa alta tendiendo a perfecta para las mismas variables (la temperatura media con  $-0,90$ ,  $R^2= 0,81$ ; para humedad relativa  $r= -0,86$ ,  $R^2= 0,74$  y para evapotranspiración potencial  $r= -0,78$ ,  $R^2= 0,60$ ), lo cual demuestra que los cambios de coberturas han afectado el clima local y por ende la oferta hídrica en la cuenca del río Canalete.

Los resultados obtenidos, están referidos en los cálculos estadísticos de las correlaciones existentes entre la dinámica de la modificación de las coberturas de bosques, vegetación secundaria y pastos en la cuenca del río Canalete y el comportamiento de las variables climáticas de precipitación, humedad relativa, evapotranspiración y temperatura media, analizado en cuatro periodos distribuidos entre los años 1973 a 2017, resultados que muestran la incidencia de las acciones antrópicas en el clima local y que pueden ser aporte en el cambio climático global.

**Palabras Claves:** Cobertura del suelo, imágenes satelitales, variabilidad climática, cambio climático, CORINE Land Cover.

## 1. INTRODUCCION

La preocupación por los efectos del calentamiento global sobre los distintos ecosistemas y territorios, ha generado un sinnúmero de alertas por parte de la comunidad científica para redirigir los factores que han acelerado el fenómeno (Barboza, 2013); es por tanto, que el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC) mantienen la preocupación ante las variaciones registradas en algunas variables climáticas (Pardos, 2010) que afecta a la biodiversidad en diferentes escalas y de diversas formas (Suárez-Parra, Cély-Reyes, & Forero-Ulloa, 2016); la modificación de estos puede alterar significativamente la energía de la superficie y el equilibrio del agua en una región en particular y, por lo tanto, su clima (Bonan 2008 citado por Akkermans, Thiery, & Van Lipzig, 2014). El clima de un lugar o región cambia a lo largo de períodos extensos y desarrolla tendencias evolutivas mensurables; desde el punto de vista estadístico (Sergio Mora Castro, Javier Saborío, María del Mar Saborío, & Juan Pablo González, 2008) no es un parámetro puntual, sino que se describe en términos de media y variabilidad a escala de tiempo determinada y estándar de temperatura, precipitaciones y vientos. (L. Useros, 2012).

El cambio de cobertura del suelo para fines antrópicos es algo muy común en la actualidad (Arboit & Maglione, 2018), produciendo una interferencia humana en el sistema climático; en gran parte, el conflicto de uso del suelo y sus actividades asociadas han generado cambios en las condiciones climáticas locales. Se ha encontrado una relación entre las variables climáticas, como temperatura, densidad de vapor y evapotranspiración de la interfaz suelo-vegetación, y su utilidad como indicadores de calentamiento global a nivel local en zonas con temperatura y humedad

relativa elevadas (Pérez & Gónima, 2014); los cambios en la cobertura del suelo dan como resultado alteraciones en la humedad de la superficie (Mahmood et al., 2014). Es decir, la conversión de bosque a pasto tiende a disminuir la evapotranspiración y mejorar el calentamiento sensible, por lo tanto, calienta la atmósfera cercana a la superficie (Davin, de Noblet-Ducoudré, & Friedlingstein, 2007), amplificando las variaciones de temperatura diurnas y aumentando la temperatura media (Freche, Janssen, & Merkt, 2009).

El cambio de uso del suelo ha sido reconocido como causa importante del cambio climático (Alvarado-barrientos, Holwerda, & Postgraduados, 2010); estudios internacionales como el de Li, Liu, Zhang, & Zheng (2009), realizado en la cuenca de Heihe - China, comprobó este hecho al analizar el cambio en las variables climáticas a través de varios periodos de tiempos, producto de los cambios hidrológicos en el suelo y en las coberturas vegetales. La cobertura del suelo se refiere al tipo de cubierta que se encuentra en la superficie terrestre, (Seingier et al., 2009) mientras que el uso se refiere al resultado de las actividades socioeconómicas que se desarrollan (o desarrollaron) sobre una cobertura (Anderson *et al.*, 1976 citado por Bocco, Mendoza, & Masera, 2001) y está asociado con los fines sociales y económicos el cual, a partir de su correlación con variables climáticas podría evidenciar la huella de la acción de la antroposfera sobre la biosfera y los posibles impactos sobre el clima en diferentes escalas. (A. F. Carvajal & Pabón, 2016).

Principalmente, el cambio en las condiciones climáticas se atribuye a la transformación del territorio, en términos del potencial forestal que ha sido drásticamente afectado: los suelos que en el pasado configuraban grandes extensiones boscosas, hoy se encuentran destinados principalmente a la producción ganadera (Bicudo da Silva, Batistella, Moran, & Lu, 2017). A

escala regional, la modificación en cobertura y uso del suelo, altera los ciclos hídricos de las cuencas, los regímenes de temperatura, el secuestro de dióxido de carbono (Sepúlveda-Varas, Saavedra-Briones, & Esse, 2019) y es uno de los impulsores de la pérdida de diversidad biológica (Morales-Hernández, Carrillo-González, Farfán-Molina, & Cornejo-López, 2016). Por lo cual es de gran importancia conocer e identificar los impactos asociados al uso del suelo, como mecanismo para la planificación del territorio y la gestión de los recursos hídricos, considerando que, las tasas de cambio de cobertura de suelo agravarán los impactos negativos pronosticados por el cambio climático (CC) (Montero Martínez & Ibáñez Hernández, 2017). De tal forma que, como alternativa para analizar estos impactos, (Flórez-Yepes, Rincon-Santamaría, Cardona, & Alzate-Alvarez, 2017) el uso de dispositivos de teledetección y herramientas SIG ha cobrado relevancia, debido a que permiten analizar el territorio de manera multitemporal, García et. al (2017) y pueden manejar información geográfica con un gran potencial para apoyar los estudios de conservación de la diversidad biológica (Morales-Hernández et al., 2016), así como el cambio en el uso del suelo, mediante la comparación temporal de imágenes de la misma área (Condori, Loza, Mamani, & Solíz, 2018) para realizar análisis (Jimenez Ballesteros & Sánchez Puin, 2017) con información climática de variables como precipitación y temperatura mensual y de coberturas de la tierra categorizadas en suelo descubierto, vegetación herbácea y bosque (Germán Naranjo, Guerrero, Guevara, Freddy Suárez, & Prüssmann, 2019).

La variabilidad climática se refiere a las fluctuaciones del clima durante períodos de tiempo cortos (años, meses)(Y. Carvajal, 2011), corresponde a las variaciones del estado medio y a otras características estadísticas (desviación típica, sucesos extremos, etc) del clima en todas las escalas temporales y espaciales (Ortiz Arenas, Ruiz Ochoa, & Rodríguez Miranda, 2017); depende de los

cambios en la temperatura, su sensibilidad y su capacidad de adaptación (Pérez-Muñoz, Brand, & Agudelo, 2017). Por su parte, el cambio climático es un concepto asociado al uso del suelo y los patrones hidrológicos, es decir, que el clima engloba la totalidad de los procesos físicos, bióticos y abióticos que se presentan en una región dada (Galván Fernández & Guadarrama Brito, 2018) de tal forma que, el estudio de los cambios en las coberturas de la tierra, podría dar indicios de las relaciones con los cambios en el clima (Jimenez Ballesteros & Sánchez Puin, 2017) y sus efectos en los procesos hidrológicos a nivel de cuenca, (Martínez, Coello, & Feyen, 2017) implica aumento de temperatura (Sánchez, Diakite Diakite, & Rufino Arteaga, 2020). Los impactos en las ciudades se evidencian con mayor magnitud, a saber: aumento de eventos extremos como lluvias fuertes, tormentas, vendavales y deslizamientos, que deterioran las condiciones de habitabilidad y la calidad de vida de las poblaciones (Pérez-Muñoz et al., 2017); muchos científicos predicen que el cambio climático agravará aún más las vulnerabilidades que experimentan los campesinos como resultado de la sensibilidad de sus localidades geográficas (áreas de secano, laderas, etc.) y su alta dependencia de recursos naturales (Altieri & Nicholls, 2017).

En las últimas dos décadas el análisis de los recursos hídricos ha estado recibiendo atención a escala mundial a los cambios en las variables climáticas e hidrológicas (Seingier, Espejel, & Fermán-Almada, 2009). Según Blanco y de la Torre (2017), menos de diez países poseen el 60 % del suministro total de agua dulce disponible: Brasil, Rusia, China, Canadá, Indonesia, Estados Unidos, India, Colombia y la República Democrática del Congo (Torre, 2017) actualmente Sudamérica tiene el 28% de los recursos hídricos mundiales, Colombia tiene el 5%, sin embargo, esta riqueza en el país no se reparte equitativamente en el espacio y en el tiempo, la variación de la cantidad de agua para un año seco es de 841 mm, el año promedio es de 1.775 mm, y para un año húmedo de 3.420 mm; en Colombia en un año promedio el recurso hídrico se distribuye de



manera desigual en el territorio, a pesar que un gran porcentaje del territorio nacional tiene buena disponibilidad de agua, se identifica como zonas áridas únicamente el 1% del territorio nacional, la región caribe presenta condiciones deficitarias del 15% en el área hidrográfica (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2018), presentando regímenes de precipitación y de variabilidad climática muy significativos a lo largo y ancho del país, variando entre regiones y por tanto los efectos de las alteraciones no se perciben de manera homogénea en el territorio nacional.(Sergio Mora Castro et al., 2008)

En el país, se han adelantado estudios a partir de análisis multitemporales y estadísticos de las variables climáticas que han permitido generar indicadores de calentamiento global (Ruiz, 2010; Benavides & Rocha, 2012). Una metodología eficaz para el análisis general de las coberturas de suelo de una región es la CORINE Land Cover, la cual permite realizar una caracterización y descripción completa de las coberturas de la tierra interpretadas a partir de imágenes satelitales Landsat (IDEAM, 2019), constituyéndose como una metodología adecuada para analizar las variables climáticas en función del cambio de coberturas vegetales.

Los procesos de intervención que se dan en el territorio nacional son innegables en el sector costanero de Córdoba, al igual que para toda la cuenca del río Canalete, en donde se ha evidenciado en dicha cuenca, un incremento en la cobertura de pastos que ha llevado a la presencia de manchas aisladas de bosque natural que continúan en serio peligro de desaparecer por la alta presión a la que se someten, asimismo el saqueo maderero ha conllevado a que tan solo sea posible encontrar muy pocos fragmentos de bosque natural dado que las tierras están dedicadas a la ganadería, con el agravante de que estos suelos no son aptos para esta actividad (CVS, 2009).

Como antecedentes a la problemática de la cuenca, se tiene que la oferta hídrica en el río Canalete está lejos de ser la adecuada para el bienestar y desarrollo económico sostenible de las comunidades asentadas en el área. La disponibilidad de agua dulce, en el área de investigación, se caracteriza por la escasez de este recurso, en los periodos secos del río Canalete, llegándose a presentar caudales muy bajos cercanos a los 20 l/s, mientras que los meses más húmedos pueden llegar a presentar caudales promedio cercanos a los 15.000 l/s. La fuente no registra un uso doméstico, pues la cuenca del río en épocas de estiaje no tiene la capacidad de abastecer las cabeceras municipales de Canalete y Puerto Escondido, por lo que se han venido adoptando soluciones técnicas de captación de agua pluviométrica en represas o embalses siendo insuficientes estas soluciones (Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y San Jorge, 2008).

Teniendo en cuenta que los cambios de coberturas y usos del terreno son procesos dinámicos, se requiere estudiar cómo suceden y cuáles son las repercusiones de la disminución de las coberturas boscosas, en cantidad y calidad del recurso hídrico y suelo (CORPONARIÑO, 2017).

Como se comentó anteriormente, el uso del suelo y el clima son algunos de los factores que influyen directamente en la hidrología de la cuenca, por lo cual algunas entidades como la CVS, han orientado la problemática en la determinación del índice de calidad del recurso; otros como la Gobernación de Córdoba a través del Plan Departamental de Aguas han orientado los estudios hacia la búsqueda de soluciones de suministro de las poblaciones, para suplir necesidades de abastecimiento, no obstante, se requiere analizar de forma holista dicho problema estableciendo, indicadores que reflejen la problemática espacio temporal que caracteriza esta zona del departamento y que den cuenta de las tendencias y posibles alertas ambientales.

Aunque los efectos hidrológicos del cambio en el uso del suelo y la variación climática ocurren en todas las escalas espaciales, los estudios a escalas regionales y locales son más relevantes para

proporcionar información importante a los desarrollos económicos y sociales locales y a la protección del medio ambiente (Ling & Yusop, 2014).

En esta investigación se analizó el comportamiento espacio temporal de las modificaciones del uso del suelo y su relación con las variables climáticas locales de precipitación, humedad relativa, temperatura y evapotranspiración de la cuenca del río Canalete. Utilizando la metodología CLC, se logró analizar los cambios en las coberturas obtenidas a través de las imágenes satelitales y se relacionaron estadísticamente, con los cambios en las variables climáticas a partir de las estaciones del área de influencia de la cuenca para los periodos comprendidos entre 1972 hasta 2017.

En concordancia a lo anterior, el presente estudio busca responder a la pregunta si existe una relación entre la modificación del uso del suelo y el comportamiento del clima local en el tiempo, para dar mayor claridad sobre la incidencia que existe entre las acciones antrópicas y el calentamiento climático. La metodología y los resultados obtenidos exponen claramente, que tanta relación existe entre las cambiantes modificaciones de las coberturas en la cuenca y las variables climáticas, pudiendo ser un aporte al debate del efecto que generan las acciones antrópicas en las políticas territoriales del uso del suelo en el clima local.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

Analizar el comportamiento espacio temporal de las modificaciones del uso del suelo y las variables climáticas de precipitación, humedad relativa, temperatura y evapotranspiración con el fin de determinar la posible incidencia en el clima local en la cuenca del río Canalete, departamento de Córdoba.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Estimar los cambios del uso del suelo en las últimas cinco décadas, en la cuenca del río Canalete a través de imágenes satelitales.
- Calcular la variabilidad temporal del clima en la cuenca del río Canalete en las últimas cinco décadas.
- Analizar el comportamiento de las diferentes variables climáticas afectadas por la evolución de la dinámica de la modificación del uso del suelo en la cuenca del río Canalete.

### **3. MARCO TEORICO**

#### **3.1. Antecedentes**

El cambio climático es un fenómeno que ha cobrado relevancia tras los distintos efectos que produce sobre los distintos ecosistemas. Los aumentos paulatinos de la temperatura en la superficie terrestre, trae consigo modificaciones en los patrones de precipitación, cambios en la intensidad y en la frecuencia de eventos climáticos extremos (Botero, 2015).

En los últimos años ha existido la preocupación por estudiar las consecuencias del cambio climático sobre el ciclo hidrológico, siendo tema de vanguardia dentro de la comunidad científica. Li, Liu, Zhang, & Zheng (2009), establecieron el efecto de las modificaciones de la cuenca Heihe, China sobre el clima, en el periodo 1981-2000 concluyendo que la variabilidad climática influyó en la hidrología superficial de manera más significativa, que el cambio de uso de la tierra en esta cuenca durante dicho periodo. Investigaciones similares fue el llevado a cabo por Zhang, Ling lei, Li, Rui, & Deng, (2018), planteando la correlación entre los cambios climáticos e hidrológicos utilizando un modelo global en la cuenca del río Yarlung Zangbo, China. Los estudios además de proporcionar una comprensión más profunda de las características del río, mostraron que las variables climáticas de precipitación, temperatura y escorrentía cambiaron significativamente. Los análisis mostraron que la influencia de la variabilidad del clima debe ser considerada y evaluada por separado al cuantificar el efecto hidrológico de la restauración de la vegetación, así mismo los resultados mostraron que los efectos integrados del cambio en el uso del suelo y la variabilidad del clima disminuyen la escorrentía, el contenido de agua en el suelo y la evapotranspiración.

Estudios más recientes han demostrado la incidencia que tienen los cambios de coberturas del suelo sobre las características climatológicas de una región. Los cambios se ligan a la capacidad de absorción de radiación que tienen los distintos tipos de vegetación, lo que afecta la cantidad de agua que es retenida mediante los distintos procesos de pérdida y ganancia como la evapotranspiración (Pitman et al., 2012), la escorrentía (Blahušíaková & Matoušková, 2015), modificando el comportamiento de las variables climáticas (Tian, Jin, Wu, & Niu, 2018).

A nivel nacional, se han adelantado estudios para establecer las variaciones en el régimen climático teniendo en cuenta escenarios de cambio climático locales. Ruiz Murcia (2010) utilizando modelos climáticos globales y regionales, analizó series de precipitación, temperatura del aire y humedad relativa, entre 1971 y 2000, detectando evidencias del calentamiento global en Colombia, mientras que Benavides Balleteros & Rocha Enciso (2012) evaluaron el comportamiento temporal por décadas de la temperatura del aire y precipitación en el territorio colombiano, entre 1961 y 2011 para generar indicadores de calentamiento global para todo el país.

Hasta mediados de siglo, el impacto del cambio climático proyectado afectará a la salud humana, principalmente por la agravación de los problemas de salud ya existentes. A lo largo del siglo XXI, se prevé que el cambio climático ocasione un incremento de mala salud en muchas regiones y especialmente en los países en desarrollo de bajos ingresos, en comparación con el nivel de referencia sin cambio climático (IPCC, 2014b).

En Colombia el régimen hidrológico se caracteriza anualmente por periodos secos y húmedos, que serán referidos en este aparte como régimen monomodal y bimodal para indicar la existencia de uno o dos periodos secos y/o húmedos. La variación del caudal mensual compensa en ocasiones el contraste entre la escorrentía de los períodos secos y aquellos con excedentes de agua, haciendo difícil identificar años secos con base solamente en el valor promedio anual (IDEAM, 2018).

A nivel regional, se han realizados diferentes estudios que permiten conocer las dinámicas climáticas de la región y los cambios de uso del suelo de algunas zonas, entre estos estudios se encuentra el de Zabaleta et al., (2018), donde analizaron la presión hidrológica a la cual está sometida la Mojana bajo escenarios de calentamiento global a nivel local. Los resultados mostraron que el 45,9% del área total con cobertura de pastos, presentó una alta presión hidrológica expresada en altos valores del número de curva como un indicador demográfico. El clima local mostró una tendencia a aumentar la temperatura del aire desde 1978 hasta 2016, lo que evidenció la manifestación del calentamiento global a escala local, el comportamiento del clima de la zona aumento el grado de presión hidrológica al afectar las condiciones de desarrollo de la vegetación y las relaciones de evaporación y transpiración relacionadas con el suelo y la vegetación.

En el departamento de Córdoba, el estudio “Análisis de la variabilidad climática de la temperatura del aire y de la ETP para una zona del Caribe Colombiano” de Gónima & Pérez Vilorio (2014), analizó detalladamente la variabilidad climática a escala local, de gran parte de la cuenca media y baja del río Sinú, demostrando que no solamente cada una de las estaciones meteorológicas analizadas por separado, sino también la zona de estudio integrada, se encuentran bajo la influencia del fenómeno del calentamiento global posiblemente causado por la fuerte intervención antrópica, así mismo se estudió el contenido del vapor de agua de la atmósfera como indicador del calentamiento global. Por su parte, Arrieta Torres, Trujillo Padilla, & Arrieta Almario (2018) a través del reconocimiento y análisis descriptivo de las imágenes satelitales o representaciones de la cobertura terrestre generadas, identificó los cambios de coberturas en la Ciénaga de Betancí debido a la dinámica productiva a la que está sometida.

Realizar análisis y cuantificación de las coberturas en los cambios de usos del suelo, así como determinar áreas potencialmente recuperables que permitan mantener la biodiversidad paisajística,

biológica y cultural; ha venido en aumento en los últimos años con el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para los estudios del territorio y del paisaje, el cual se ha convertido en una herramienta imprescindible y excepcional (Varga Linde & Vila Subirós, 2005). La importancia de estos sistemas va más allá de la elaboración de la cartografía, la importancia reside en dar a conocer de una manera holística la pérdida de cobertura vegetal y los cambios de uso del suelo que existen a través del tiempo y el espacio, tratando de dar a conocer una aproximación de lo existente, con la interacción de los factores físicos, naturales y humanos.

En estos análisis, unas de las metodologías que ha sido objeto de frecuente uso para determinar cambios en las coberturas, ha sido la metodología CLC adaptada para Colombia por el IDEAM. Corredor, Cárdenas, & Ordóñez (2011) estudiaron la variabilidad de las coberturas en el parque natural los Flamencos en el periodo 1987 hasta 2007, debido a las continuas presiones que se han ejercido sobre el territorio; la aplicación de la metodología reveló que gran parte de las coberturas habían cambiado en un 40% y que solo se habían conservado un 11% correspondientes a pastos naturales (Corredor et al., 2011).

Desde el punto de vista metodológico, el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos "Alexander von Humboldt" desarrollo el estudio Validación de la metodología CLC, para determinación espaciotemporal de coberturas: caso microcuenca de la quebrada Mecha (Cómbita, Boyacá), Colombia, donde evalúa las coberturas de la tierra mediante el uso de imágenes satelitales tipo Landsat. En esta investigación, se usaron imágenes Landsat 8, de los años 2014 y 2015, logrando determinar una modificación en coberturas, siendo más significativa la disminución del área de bosque denso, con el aumento de los mosaicos de cultivos y áreas de pastoreo, lo cual ha contribuido a la desaparición abrupta de la vegetación típica de páramo. (Suárez-Parra et al., 2016).



Por su parte, la Corporación de los Valles del Sinú y San Jorge (CVS) como entidad encargada de la conservación y uso de los recursos naturales del departamento de Córdoba, en el año 2005, elaborando el Diagnóstico Ambiental del Plan de Ordenamiento y Manejo Integral de la Cuenca Hidrográfica del Río Canalete, en convenio con el Fondo Nacional de Proyectos de Desarrollo (FONADE), estableciendo la situación del estado ambiental y la línea base de la Cuenca desde dos grandes componentes: socioeconómico y físico biótico. Posterior, en el 2008 la CVS y la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Montería, desarrollaron las Fases de Prospectiva y Formulación del Plan de Ordenamiento y Manejo Integral de la Cuenca Hidrográfica del río Canalete (CVS & UPB, 2008). Estas herramientas diagnosticaron los problemas a los cuales está sometida la cuenca, así como la composición en términos de uso del suelo y problemáticas asociadas con la disponibilidad de agua.

Sin embargo, evaluar los cambios en las coberturas vegetales en la cuenca del río Canalete y su influencia en la variabilidad climática, fue necesario para analizar el comportamiento de las diferentes variables y determinar su relación con las actividades agropecuarias.

### **3.2.Marco conceptual**

Como parte esencial para la comprensión del tema se describen los conceptos relevantes a continuación.

#### **3.2.1. El ciclo hidrológico.**

El ciclo hidrológico describe el transporte de las masas de agua a través de la atmósfera a la tierra y su retorno a la atmósfera, y es el modelo básico para entender el funcionamiento de los sistemas hídricos. En el análisis del ciclo hidrológico se deben considerar variables como la precipitación, infiltración, escurrimiento, evaporación y transpiración, de tal forma que el único componente de entrada al ciclo hidrológico en la cuenca es la precipitación (a menos que exista un transvase),

mientras que las salidas están representadas por la evaporación, la transpiración, la infiltración y la escorrentía (IDEAM, 2018). La escorrentía superficial es una expresión material de la oferta hídrica total, pero para fines de uso del recurso hídrico es importante definir que solo una parte de esa escorrentía o caudal puede ser usado y por ello se define la “oferta hídrica disponible”. Esta oferta disponible es el resultado de considerar una parte de la oferta hídrica total para mantener y conservar los ecosistemas fluviales y las necesidades de los usuarios aguas abajo (caudal ambiental) (IDEAM, 2014).

### **3.2.2. Oferta hídrica.**

La cantidad de agua disponible para diferentes usos en una cuenca o unidad hidrológica se denomina “oferta hídrica neta”(Samboni, Aldemar, & Yesid, 2011). La oferta hídrica total superficial, es lo que más afectación puede presentar por efectos de la modificación del uso del suelo y del calentamiento global, siendo este el volumen de agua que escurre por la superficie e integra los sistemas de drenaje superficial; el agua que fluye por la superficie del suelo que no se infiltra o se evapora y se concentra en los cauces de los ríos o en los cuerpos de agua lenticos (IDEAM, 2018).

### **3.2.3. Cambio climático.**

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en su artículo 1, define el cambio climático como “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”. (IPCC, 2014b). El cambio climático se define internacionalmente como el cambio del estado del clima identificable en las variaciones de su valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo(Baeza, 2017). El cambio climático puede deberse a

procesos internos naturales o a forzamientos externos tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o cambios antropógenos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso del suelo.(Ruíz, 2015).

#### **3.2.4. Teledetección aplicada al medio ambiente.**

La teledetección se basa en un sistema de adquisición de datos de forma remota sobre las diferentes zonas de la tierra a partir de las distintas variaciones espectrales, espaciales y temporales de las ondas electromagnéticas permitiendo analizar las relaciones existentes entre cada una de ellas, logrando la identificación de los distintos materiales que componen la superficie terrestre y los fenómenos que operan en ella (Sacristán Romero, 2005). Para el análisis de estos, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son ampliamente utilizados.

Los SIG, son sistemas que permiten la captura, ingreso, almacenamiento y análisis de datos geográficos, así como la presentación de la información resultante. Un SIG es un conjunto de programas y equipos de computación que permite el acopio, manipulación y transformación de datos espaciales (mapas, imágenes de satélites) y no espaciales (atributos) provenientes de varias fuentes, temporal y espacialmente diferentes. El objetivo central de un SIG es generar información válida para la toma de decisiones (Rosete & Bocco, 2003). El Instituto de Investigación de Sistemas Ambientales (en inglés Environmental Systems Research Institute – ESRI), define los SIG como un software computacional que vincula información geográfica con información descriptiva y a diferencia de un mapa plano físico, donde lo que se ve es lo que se puede obtener, un SIG representa muchas capas con distinta información a través de mapas digitales mucho más fáciles de manejar e interpretar que los mapas en papel (ESRI, 2006).

En la actualidad, se puede contar con imágenes satelitales de una gran cantidad de servidores, muchos de estos permiten obtener datos de forma gratuita y en muchos casos, con un alto nivel de detalle y precisión.

### 3.2.5. **Imagen satelital.**

Una imagen satelital es una matriz de percepción remota conformada por unidades mínimas de almacenamiento denominadas píxeles, los cuales almacenan un valor numérico ND grabado en código binario. Las imágenes Landsat son el producto del primer programa de satélites de percepción remota para la observación de los recursos terrestres, se encuentran disponibles desde el lanzamiento del primer satélite en 1972 que contenía el sensor Multispectral Scanner (MSS) y han ido evolucionando a medida que se han instaurados nuevos sensores como el Thematic Mapper (TM) desde 1984, el Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) en 1999 y Landsat Data Continuity Mission disponible desde 2013, los cuales se encuentran en vigencia actualmente. Las imágenes se encuentran compuestas de una serie de bandas de acuerdo con el sensor, que van desde el espectro visible hasta el infrarrojo medio teniendo resoluciones variadas desde los 15 metros llegando hasta los 100 metros, abarcando cada escena una cobertura de 185 km<sup>2</sup> y una temporalidad de 16 días (Navia & Rivera Morales, 2016).

Las imágenes satelitales se deben extraer, organizar, procesar, interpretar y llevarla a un mapa digital o análogo para brindar la información de análisis requerida. Previamente es necesario elegir la resolución más adecuada, que según diferentes autores, depende de las características de la escena y la variación deseada, del conocimiento previo de la zona de estudio y los niveles de referencia para la clasificación de los objetos en la imagen, así como la determinación de las variables que deben ser involucradas y las relaciones existentes entre ellas mismas para obtener la información precisa y apropiada, lo cual es posible gracias a los SIG (Correa Valencia, 2018). El

análisis multitemporal de imágenes satelitales consiste en evaluar o analizar comparativamente dos o más imágenes de la misma zona para épocas diferentes, este análisis tiene muchas aplicaciones en el estudio de los recursos naturales, una de las cuales es la detección de los cambios que sufren las diferentes coberturas vegetales por la intervención del hombre en una determinada área, permitiendo así un monitoreo continuo sobre áreas de interés y la interpretación de los posibles conflictos en el uso del suelo (Correa Valencia, 2018).

### **3.2.6. El uso del suelo.**

El uso del suelo se refiere a la actividad, ocupación e intervenciones a las que están siendo sometidas una determinada extensión de territorio para producir, modificar o mantener una actividad económica presente, sin tener en cuenta su potencial de uso o su futuro uso (Navia & Rivera Morales, 2016). El uso y tratamiento de la tierra se refiere básicamente a la cobertura del suelo como el parámetro más dinámico y su importancia en los procesos de abstracción inicial (Ling & Yusop, 2014).

Para evaluar los efectos hidrológicos del cambio ambiental de la cuenca, se pueden desarrollar varios métodos, los cuales se dividen principalmente en tres grupos: enfoque de cuencas apareadas, análisis de series temporales (método estadístico) y modelado hidrológico. El enfoque de cuencas apareadas se considera a menudo como el mejor método para compensar la variabilidad climática en pequeñas cuencas experimentales, sin embargo, es difícil de aplicar a otras cuencas de captación, ya que es difícil encontrar dos cuencas medianas o grandes de tamaño similar, e incluso la misma cuenca puede cambiar mucho en diferentes etapas. El análisis de series temporales es un método estadístico que es fácil de realizar, pero sólo puede analizar los efectos hidrológicos del cambio ambiental, simplemente porque carece de mecanismo físico (Li et al., 2009).

### **3.2.7. Cuenca hidrográfica.**

En 2010, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS), expidió la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico – PNGIRH, la cual define la cuenca hidrográfica como unidad espacial de análisis y de gestión, en donde el agua interactúa con los demás recursos naturales renovables, elementos ambientales y/o ecosistemas estratégicos que la integran, así como los elementos antrópicos que influyen positiva o negativamente en la misma y los actores clave para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, (autoridades ambientales, usuarios, entes territoriales y demás entidades tanto públicas como privadas que actúan en la cuenca) (Navia & Rivera Morales, 2016).

### **3.2.8. Demanda y abastecimiento de agua en Colombia.**

Colombia ha sido reconocida por su abundante oferta hídrica, pero, en términos hidrológicos el territorio nacional no es homogéneo, las cinco áreas hidrográficas del país albergan sensibles diferencias que repercuten en la vulnerabilidad tanto del sistema natural como de la estructura socioeconómica.

Según el informe reporte del avance del Estudio Nacional del Agua 2018 (ENA 2018), en Colombia se priorizan 391 municipios susceptibles a desabastecimiento en el territorio Nacional, distribuidos en 24 departamentos, sin embargo, en ocasiones el acceso al recurso hídrico en estas unidades hídricas es limitado, bien sea por déficit en la oferta natural, reducción de la precipitación o insuficiencia en la infraestructura de abastecimiento, para el departamento de Córdoba la afectación por desabastecimiento está en un rango del 10% al 20% (IDEAM, 2018).

Con relación a la demanda, el porcentaje de participación a nivel nacional del departamento de Córdoba es de 6.4%. El uso total de agua por departamento y distribución porcentual por sectores

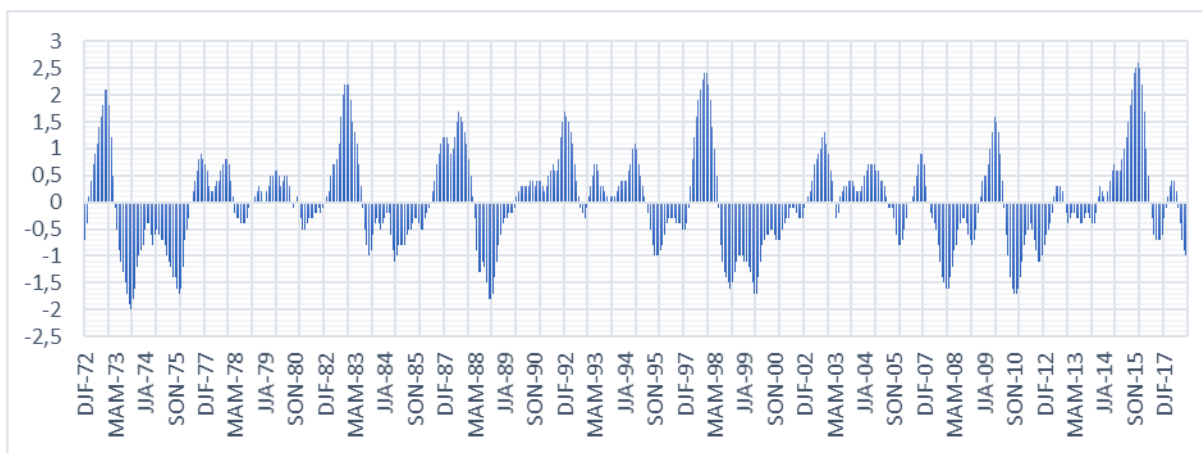
demuestra que el uso del agua en agricultura supera el 20% en todos los departamentos de Colombia, en el departamento de Córdoba, este uso alcanza el 50% (IDEAM, 2018).

Para determinar la evaluación de la disponibilidad del recurso hídrico, en el ENA 2018, se establecen los índices que están siendo utilizados en Colombia, de los cuales dan cuenta las condiciones del sistema hídrico natural y los relacionados con la intervención antrópica que tienen efectos sobre la cantidad, variabilidad y calidad de agua (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2018), para efectos del presente estudio, se enfatiza en las condiciones del sistema hídrico cuyo insumo principal es el balance hídrico, por lo cual se han seleccionado las variables climáticas de precipitación, temperatura media, humedad relativa y evapotranspiración.

### **3.2.9. Influencia del fenómeno ENSO.**

Los fenómenos ENSO son impulsados por el desplazamiento de masas de agua cálidas o frías en el océano Pacífico ecuatorial y subtropical, entre las costas occidentales de Suramérica y el continente asiático. La fase fría del ENSO corresponde al fenómeno de la Niña, fase que se presenta frente a las costas suramericanas e intensifica los vientos alisios, la corriente ecuatorial, la subsecuente intensificación de la corriente fría de Humboldt, lo cual intensifica la surgencia (upwelling), emerge la termoclina y en consecuencia aumenta la concentración de nutrientes en las aguas de las costas suramericanas (IDEAM, 2015).

Tomando los registros históricos reportados por Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés), en la figura 1, se observa el comportamiento de la anomalía de temperatura de la superficie del mar, registrada en el Pacífico tropical del periodo 1972 a 2017, y los años del fenómeno de El Niño y La Niña de valores más severos donde la diferencia de temperatura está por encima de la unidad.



AÑO NIÑO	1972	1982	1983	1987	1991	1992	1997	2002	2004	2009	2015	
AÑO NIÑA	1973	1974	1975	1985	1988	1998	1999	2000	2007	2008	2010	2011

Figura 1. Anomalías de temperatura de superficie del mar ( $^{\circ}$  C) registradas en el Pacífico tropical (1972-2017).

En el documento de “Formulación del Plan de Ordenamiento del recurso hídrico -PORH- e implementar acciones de manejo para la cuenca del río Canalete, en el departamento de Córdoba” formulado por la Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge CVS, se establece que en el análisis de los valores multianuales medios homogenizados de precipitación de las estaciones climáticas, se observa que no existe una correlación directa y única entre años de La Niña, de El Niño y Neutros, con los valores de precipitación promedio mensual multianual, lo que indica que la variabilidad de las precipitaciones y ocurrencia de valores extremos en la zona de estudio, no son explicadas en su totalidad por los fenómenos El Niño y La Niña, siendo el calentamiento global local uno de los responsables de dichas alteraciones (CVS, 2017).



## 4. MATERIALES Y METODOS.

### 4.1. Área de estudio

La investigación se realizó en la cuenca del río Canalete ilustrada en la figura 2, cuya corriente principal recorre una longitud de 90,2 km desde su nacimiento cerca a la cota 300 msnm, hasta su desembocadura en el Mar Caribe, abarcando un perímetro de 157,25 km y un área de 916,5 km<sup>2</sup>, que representa el 3,7% del área del departamento de Córdoba, atravesando corrientes principales como la quebrada Aguas Prietas, el Ají, el Limón, el Guineo, Sabalito y Morindó a lo largo de su recorrido (CVS, 2008).

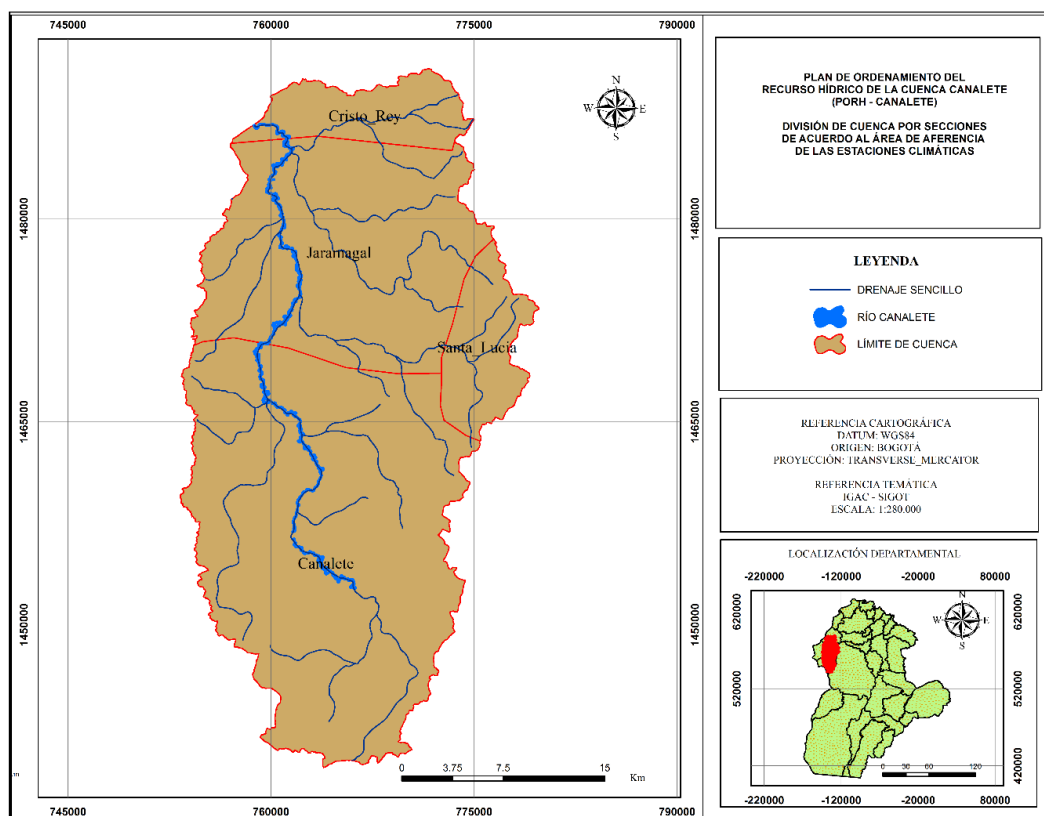


Figura 2. Cuenca del río Canalete. (CVS & UPB, 2008).

## **4.2.Diseño metodológico**

### **4.2.1. Estimación de los cambios del uso del suelo en la cuenca del río Canalete utilizando la metodología CORINE Land Cover.**

Se utilizó la metodología CLC adoptado por el IDEAM, la cual permite describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de la cobertura de la tierra, interpretadas a partir de la utilización de imágenes de satélite de resolución media (Landsat).

El esquema metodológico CLC contempla las etapas: adquisición y preparación de la información; análisis e interpretación de las coberturas; verificación de campo, control de calidad y generación de la capa temática escala 1:100.000 (IDEAM, 2010).

#### **4.2.1.1. Adquisición de las imágenes satelitales.**

La adquisición se realizó a través del geovisor del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, por su sigla en inglés), estas imágenes cuentan con una resolución espacial de 30 m. Se seleccionaron las imágenes que abarcaba la zona de la cuenca del río Canalete para el periodo comprendido entre 1972 y 2017, empleando una imagen por cada década, estas fueron seleccionadas de acuerdo con su disponibilidad y calidad, y no por periodos iguales de tiempo, situación que no afectó los análisis realizados. Las fechas de las imágenes utilizadas para cada década fueron las siguientes:

- Imagen década del 1970 – 1980: 03 – 01 – 1973 (Landsat 1).
- Imagen década del 1980 – 1990: 18 – 01 – 1986 (Landsat 5).
- Imagen década del 1990 – 2000: 21 – 03 – 1991 (Landsat 5).
- Imagen década del 2000 – 2010: 27 – 01 – 2001 (Landsat 5).
- Imagen década del 2010 – 2017: 09 – 12 – 2017 (Landsat 8).

#### **4.2.1.2. Pre-procesamiento de las imágenes.**

se realizaron inicialmente los cortes de las imágenes que contenga el área específica de interés con el fin de reducir espacio de procesamiento sobre la imagen y agilizar los procesos (evitando posible “ruido” al proceso de clasificación, donde haya otro tipo de coberturas que no estén en el área que se desea clasificar, esto dado que el algoritmo se entrena con base en las características estadísticas del pixel seleccionado, lo que se conoce como el “aoi o pixel semilla”) (La Manna, Carabelli, Gómez, & Matteucci, 2008).

Se corrigieron los errores atmosféricos de las imágenes empleando la extensión ATCOR 2 de ERDAS Imagine versión 2014, en su extensión gratuita.

#### **4.2.1.3. Clasificación digital**

Con base en las coberturas definidas inicialmente para la zona (leyenda CORINE Land Cover), se tomaron las muestras o semillas para la clasificación digital, verificando la adecuada separabilidad entre coberturas. Una vez muestreadas en la imagen todas las coberturas, a partir del algoritmo de máxima verosimilitud, se asignaron los píxeles de la imagen a las muestras, obteniendo como producto final una capa raster de cobertura del suelo. Este procedimiento se repitió para las seis imágenes.

#### **4.2.1.4. Verificación de campo de las capas de cobertura**

Para esto se escogieron los sitios con mayor incertidumbre de cobertura dentro de la clasificación (es decir, aquellos sitios cuyas características representadas en la imagen no proporcionaron suficiente separabilidad estadística de acuerdo con su curva espectral y cuya disponibilidad de imágenes de mayor resolución no permitió esclarecer su cobertura con precisión). Cabe resaltar

que esta validación se realizó con base a la imagen de 2017 ya que por ser la más actual, fue la única con posibilidad de verificación en terreno.

Ariza sugiere la escogencia del número mínimo de puntos de muestreo aleatorio para la supervisión en campo el resultado de la expresión (Ariza, 2013):

$$n = \frac{z^2 pq}{E^2} \quad (1)$$

Donde  $n$  es el número mínimo de puntos de muestreo,  $z$  el factor de confiabilidad de acuerdo con el nivel de confianza en probabilidad,  $p$  el mínimo de aciertos,  $q$  el número mayor de desaciertos ( $q=1-p$ ) y  $E$  el error estadístico. Se estimó el número mínimo de puntos a supervisar considerando una probabilidad del 95%, un  $z$  de 1,96 y error correspondiente al 5%, con un mínimo de aciertos del 85% y en consecuencia un 15% desaciertos, entendiéndose como acierto la coincidencia entre la clasificación y la cobertura real y desacierto como la no coincidencia, obteniendo un número mínimo de muestreo dada por la ecuación 1:

$$n = \frac{(1,96)^2(0,85)(0,15)}{0,5^2} = 196,96 \cong 197$$

Se contrastaron un total de 197 puntos de muestreo para verificar la calidad en la clasificación de imágenes (entre visitas de campo y selección de puntos en imágenes de mayor resolución como las Sentinel), con sus respectivas localizaciones en el raster de cobertura obtenido para el año 2017. Estos puntos estuvieron distribuidos de acuerdo con la cantidad registrada en cada una de las clases de cobertura de la tabla 1.

Tabla 1. *Asignación de puntos de muestreo para validación en la clasificación por tipo de cobertura.*

Clases de Cobertura.	No. Puntos.
Área Urbana	17
Bosque	34
Cuerpo de Agua	127
Pasto	14
Vegetación Secundaria	30
Total	197

Como verificación numérica de los resultados de la clasificación se calcularon los parámetros de exactitud del productor, exactitud de usuario e índice de kappa. La exactitud del productor es la relación entre el total de áreas muestrales clasificadas correctamente en la agrupación para un total de 197 muestras; la exactitud del usuario, definida como la relación entre el número de muestras agrupadas correctamente y las condiciones reales del terreno. Finalmente la exactitud global se calculó a partir del coeficiente kappa (k), formula 3 (Chuvieco, 1995):

$$k = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r X_i + X_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^r X_i + X_{+i}} \quad (3)$$

Donde  $X_{ii}$  son los valores de la diagonal principal de la matriz,  $X_{i+}$  es el total marginal de la fila  $i$ ,  $X_{+i}$  el total marginal de la columna  $i$  y  $N$  es el total de puntos de control como referencia. El valor del coeficiente de kappa debe ser mínimo de 0.8 (Congalton & Green 2009) Una vez verificada la exactitud de la capa raster, se procedió a vectorizar las 6 capas raster multianuales obteniendo productos con formato .shp a escala 1:100.000.

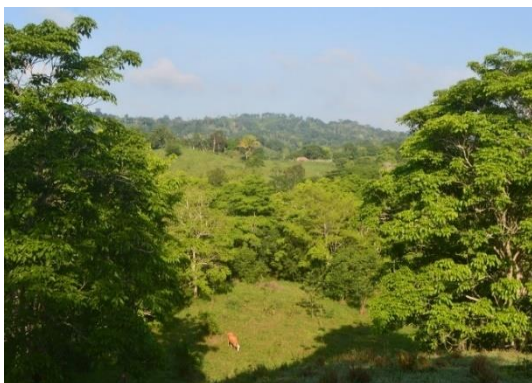
La supervisión se realizó en siete puntos claves dentro de la cuenca, los cuales no se tenía certeza sobre las diferentes coberturas presentes. En la tabla 2, se encuentran la información de los puntos

y en la figura 3 el registro fotográfico de cada punto de muestreo donde se puede apreciar la cobertura típica encontrada.

Tabla 2. *Verificación en campo de cada punto de muestreo identificado.*

Punto	Nombre (vereda-Corregimiento)	Latitud	Longitud	Cobertura
a	Canalete (cerca del casco urbano).	8°45'48.13" N	76°14'34.51" W	Se observan pastos limpios dedicados a la ganadería intensiva con poca vegetación de sombrío.
b	Santa Rosa de la Caña.	8°46'59.53" N	76°18'16.33" W	Se observan pastos arbolados, con áreas próximas cubiertas por bosque natural fragmentado y vegetación ambos con alta intervención antrópica.
c	Vereda La Curva.	8°49'41.39" N	76°17'304.92" W	Se observan pastos arbolados en las áreas con colinas dedicados a la ganadería intensiva, así mismo se observa vegetación secundaria y bosque altamente intervenido en las áreas próximas a corrientes como bosque de galería.
d	Corregimiento Jalisco	8°50'24.06" N	76°14'48.65" W	Se observan pastos limpios dedicados a la ganadería intensiva con proximidades de vegetación secundaria y plantaciones forestales (Teka principalmente) sobre colinas.
e	Vereda La Salada	8°51'12.29" N	76°17'15.92" W	Se observan pastos limpios y arbolados dedicados a la ganadería, algunas plantaciones forestales (Teka) y bosque altamente intervenido sobre lomas y colinas existentes.
f	Vereda Ojitos	8°49'35.09" N	76°8'29.68" W	Se observan pastos limpios y arbolados, en las proximidades se observan plantaciones forestales (Teka) y coberturas de bosque altamente intervenido en bajas proporciones sobre colinas.
g	Pereira	8°49'35.09" N	76°8'29.68" W	Se observan pastos limpios y arbolados, en las proximidades se observan plantaciones forestales (Teka) y coberturas de bosque altamente intervenido en bajas proporciones sobre colinas.

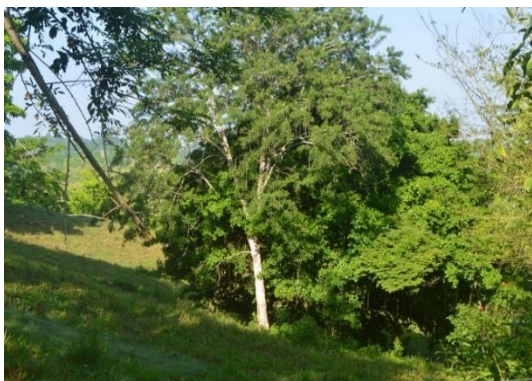
b) Corregimiento Santa Rosa de la Caña.



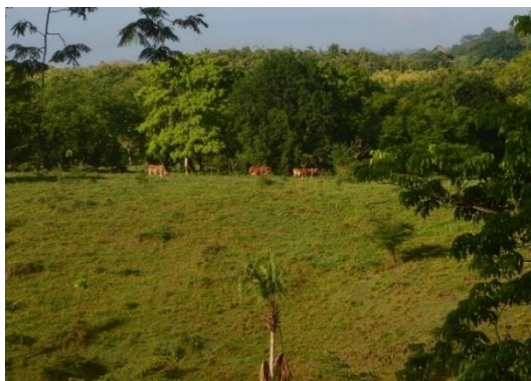
d) Corregimiento Jalisco.



e) Vereda La Salada.



f) Vereda Ojitos.



g) Vereda Pereira.



*Figura 3.* Imagen de los puntos de muestreo utilizados para verificación en terreno.

Para el punto a (Canalete) y el punto c (Vereda la Curva), no fue posible obtener el registro fotográfico debido a problemas técnicos y precauciones de seguridad dadas por el guía local de la zona. Como es evidente, en todos los puntos se aprecia la gran cantidad de pastos limpios con

vegetación arbórea a los alrededores, con algunos ejemplares vacunos como representación de la expansión agropecuaria que se ha extendido por gran parte de la cuenca (Minagricultura, 2013).

Luego de realizar la clasificación de coberturas de las imágenes capturadas, se establecieron los pixeles asociadas a cada cobertura y se vectorizaron los rasters.

#### **4.4.2. Cálculo de la variabilidad temporal existente del clima en la cuenca del río Canalete.**

Según el IDEAM (2018) en la generación de estudios estadísticos para variables meteorológicas, se deben tomar los datos de las estaciones designadas que sean confiables, contengan datos históricos y que garanticen permanencia en el tiempo. Por tal motivo, se seleccionan las estaciones que disponen de la información requerida y que se encuentren en el área de influencia de la cuenca, en la zona de interés o en sus cercanías, tal que abarquen en su totalidad el área de la cuenca.

La tabla 3 presenta el radio de acción que tiene el tipo de estaciones (nota técnica 111-OMM), que pueden ser tenidos en cuenta para la selección de las estaciones (López, 2014).

Tabla 3. *Valores medios para una red mínima funcional*

Tipo	Distancia media (km)	Radio de acción (km)
Climatológica Principal (CP) y Agrometeorológica (AM)	150	75
Climatológica Ordinaria (CO)	50	25
Pluviométrica (PM – PG)	25	13

Fuente: Nota técnica No. 111 - OMM, 1970.

Teniendo en cuenta lo anterior, las variables climáticas analizadas fueron: precipitación, humedad relativa, temperatura y evapotranspiración. El análisis de las variables climáticas se hizo con base en los registros históricos suministrados por el IDEAM reportados a partir de 1972 para las seis estaciones adscritas al catálogo de estaciones del IDEAM mostradas en la tabla 4, figura 4 y anexo 1, considerando en todo momento un mínimo de series de registros históricos anuales superiores a 30 años, cantidad mínima de registros sugerido por la Organización Mundial Meteorológica



(WMO por su sigla en inglés) para el estudio del clima con enfoque de cambio climático, referido a calentamiento global a escala local (WMO, 2011). En el caso en cuestión, las series anuales de las variables climáticas de nuestro interés, comprende un periodo de registros entre 1972 a 2017, (45 años de registros) sobrepasando dicho umbral.

Tabla 4. *Estaciones meteorológicas con influencia en la cuenca del río Canalete.*

N°	Código	Nombre	Categoría	Estado	Corriente	Latitud	Longitud
1	12040010	Jaramagal	PM	ACT	Qda Sesa	8°54'03" N	76°13'15" W
2	12045010	Arboletes	CP	ACT	Qda Seca	8°50'49" N	76°25'55" W
3	12045020	Cristo Rey	CO	ACT	Mar Caribe	9°04'16" N	76°13'28" W
4	12030010	San Juan de Urabá	PM	ACT	San Juan de Urabá	8°45'19" N	76°31'59" W
5	12040020	Canalete	PM	ACT	Canalete	8°47'13" N	76°14'08" W
6	13075030	Turipaná	AM	ACT	Caño Bugre	8°50'22" N	75°48'07" W

Nota: Categoría: PM (Pluviométrica), CP (Climatológica principal), CO (Climatológica ordinaria), AM (Agrometeorológica). Estado: ACT (Activo).

Fuente: IDEAM, 2013.

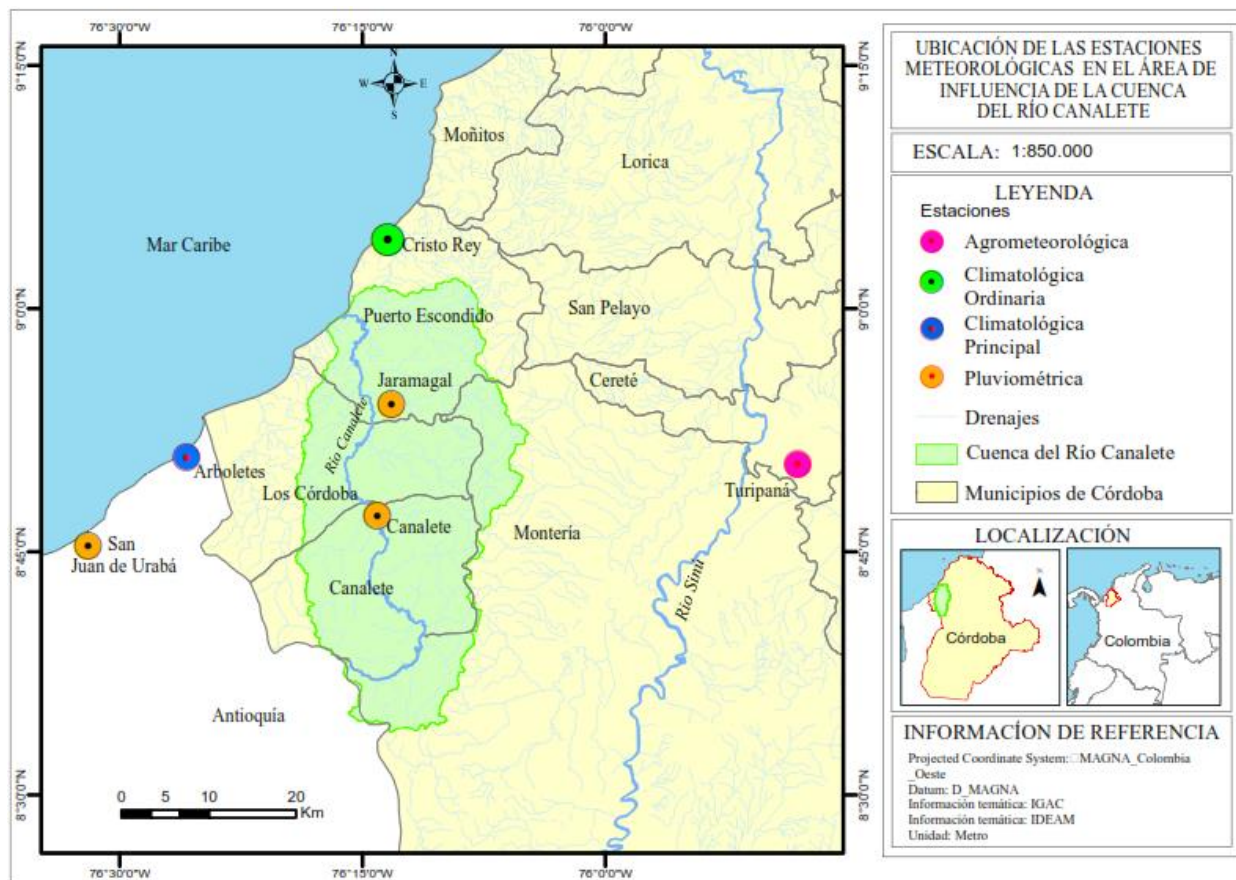


Figura 4. Ubicación de estaciones meteorológicas con influencia en la cuenca del río Canalete.

El análisis de la información climática se realizó teniendo en cuenta la calidad de la serie de datos climatológicos por medio del análisis de promedios, diferencias y desviaciones estándar, que permitieron detectar datos extremos atípicos o anómalos que puedan alterar significativamente el comportamiento de las series por errores de registro o calibración de equipos de medición.

De tal forma que un análisis de rachas, test de persistencia R y test de Helmert, permitieron, determinar la aleatoriedad, homogeneidad y persistencia de los datos (Gomez, 2012; Universidad de Carlos III de Madrid, 2000). Es así como se estimaron los datos faltantes mediante regresión lineal simple para la temperatura y precipitación, medias móviles para la humedad relativa. Estos métodos resultan favorables para predecir el comportamiento de las variables teniendo en cuenta su dependencia (Universidad de Madrid, 2013).

Una vez verificada la calidad de las nuevas series de datos, se calcularon los promedios mensuales y anuales multianuales, de esta forma, se logró identificar la variación en las variables climatológicas durante el periodo de tiempo evaluado.

Para el caso de la evapotranspiración potencial, se utilizó la ecuación 5 de Thornthwaite, la cual es validada para el cálculo de la ETP en el país (Gómez & Cadena, 2018). El cálculo de esta variable se detalla en los siguientes pasos:

#### ✓ Cálculo del índice de calor mensual

El índice de calor mensual se calcula con la ecuación 2, donde  $t$  = a la temperatura media en °C.

$$i = \frac{t^{1,514}}{5} \quad (2)$$

### ✓ Cálculo del índice de calor anual

El cálculo del índice de calor anual sería la sumatoria de todos los índices de calor mensual, tal como lo muestra la ecuación 3.

$$I = \sum_{1}^{12} i \quad (3)$$

### ✓ Cálculo del ETP (sin corregir)

La evapotranspiración potencial si corregir se calcula con la ecuación 4.

$$ETP_{sc} = 16 \left( \frac{10t}{I} \right)^a \quad (4)$$

Donde  $a = 675 \times 10^{-9}I^3 - 771 \times 10^{-7}I^{-2} + 1792 \times 10^{-5}I + 0,49239$ .

### ✓ Cálculo del ETP (corregida)

$$ETP = ETP_{sc} \frac{Nxd}{360} \quad (5)$$

Donde “N” es el número máximo de horas de sol y “d” el número de días del mes.

#### **4.4.3. Análisis del comportamiento de las diferentes variables climáticas afectadas por la evolución de la dinámica de la modificación del uso del suelo en la cuenca del río Canalete.**

Con los resultados de la estimación de los cambios de coberturas del suelo y la variación temporal del clima en la cuenca del río Canalete durante el periodo abordado, se evaluaron estadísticamente

la correlación existente entre la cobertura y las variables climáticas utilizando los test de correlación  $r$  de Pearson y el coeficiente de determinación  $R^2$ . El test de correlación  $r$ , es usado para analizar la covariación entre distintas variables relacionadas linealmente, (Pearson, 2000). Es importante saber que el resultado del coeficiente de Pearson oscila entre -1 a 1, donde a medida que se acerque a 1 indica una relación tiende a perfecta y al ser positiva es directa o inversa cuando es negativa y tiende a perfecta cuando se acerca a -1, Un resultado de 0 significa que no hay correlación, es decir, el comportamiento de una variable no se relaciona con el comportamiento de la otra variable. (Roy-García, Rivas-Ruiz, Pérez-Rodríguez, & Palacios-Cruz, 2019), en la tabla 5, se presenta la calificación de los diferentes de valores negativos o positivos que puede tener el coeficiente de correlación.

Tabla 5. *Interpretación de los diferentes de valores del coeficiente de correlación.*

$r$	Observación
0	Sin correlación
$\pm 0.20$	Correlación débil
$\pm 0.50$	Correlación moderada
$\pm 0.80$	Correlación buena
$\pm 1.00$	Correlación perfecta

Fuente: (Roy-García et al., 2019).

Para mostrarnos la proporción de variabilidad de la variable, atribuida a la relación lineal con  $X$  (como la variable cobertura), se calcula el coeficiente de determinación  $R^2$ . El coeficiente de determinación se obtiene elevando al cuadrado el valor del coeficiente de correlación  $r$ , este coeficiente oscila entre 0 y 1, cuanto más cerca de 1 se sitúe su valor, mayor será el ajuste del modelo a la variable que se intentan explicar, es decir que, valores cercanos a 1 implican que una gran proporción de la variabilidad de  $Y$  (como variable climática) es explicada por  $X$  (Roy-García et al., 2019). Por ende, cuanto más cerca se encuentre de cero, menos ajustado estará el modelo y por tanto, menos fiable.

El  $r$  y  $R^2$  se calcularon tomando los valores promedios anuales de cada estación para cada variable climática y el área en la imagen satelital correspondiente (1973, 1986, 1991, 2001, 2017).

Para determinar las correlaciones en el área de la cuenca de río Canalete, se ponderaron las variables climáticas en la cuenca de acuerdo con la distribución de las estaciones y la información disponible en cada una de ellas, utilizando los polígonos de Thiessen, tal como se muestra en la figura 5 y 6.

En la figura 5 se muestra el área de influencia de las seis estaciones y en la tabla 6 el cálculo del área que afecta la cuenca, en la que se realizará la ponderación del cálculo de la precipitación media anual en la cuenca.

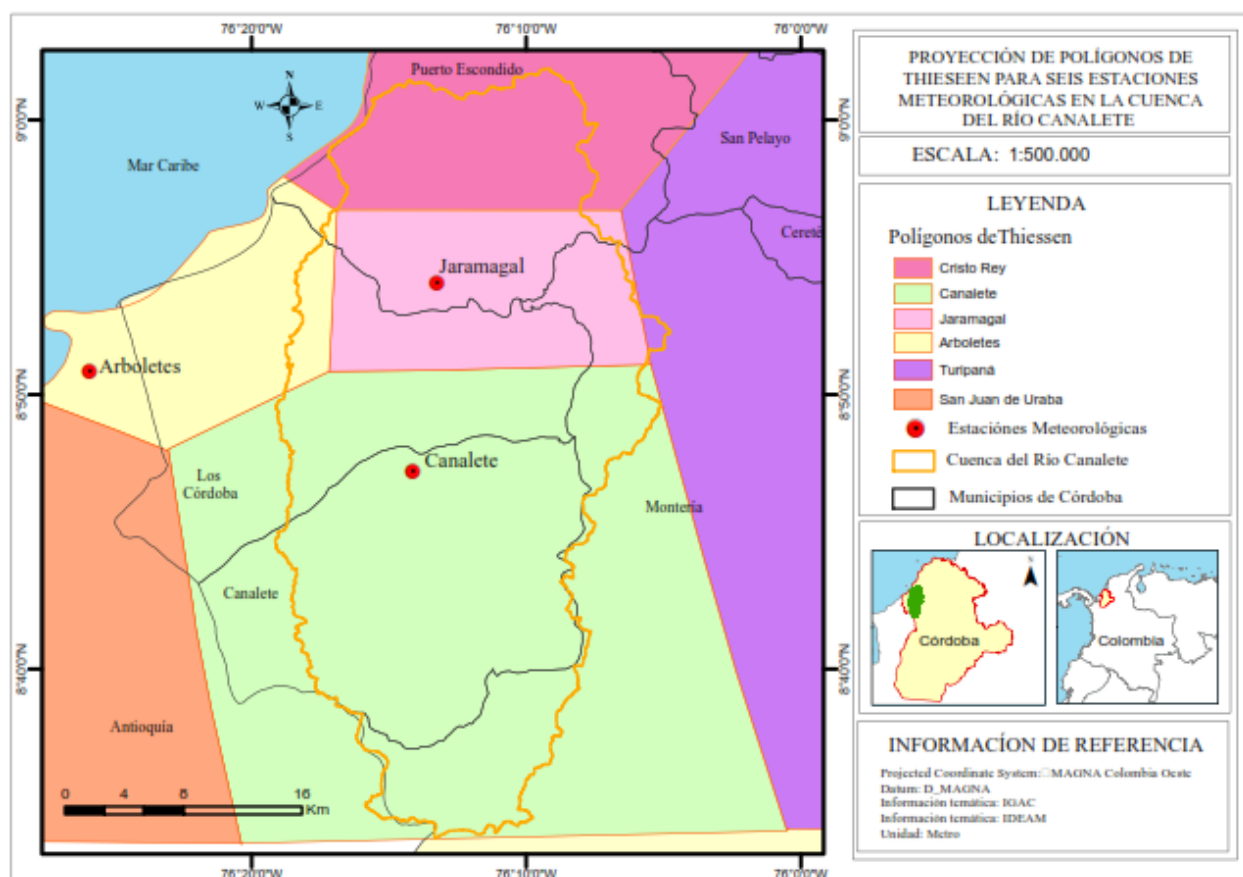


Figura 5. Distribución de los polígonos de Thiessen para seis estaciones en la cuenca del río Canalete.

Tabla 6. Distribución de áreas de influencia para las seis estaciones en la cuenca del río Canalete.

Estación	Área (ha)	Porcentaje
Turipaná	293	0,3%
Canalete	55.073	60,0%
Jaramagal	20.921	22,8%
Cristo Rey	13.178	14,4%
Arboletes	2.334	2,5%
	91.799	100,0%

En la figura 6, se muestra el área de influencia de las tres estaciones (Cristo Rey, Turipana y Arboletes) y en la tabla 7, el cálculo del área que afecta la cuenca de río Canalete, en la que se realizará la ponderación del cálculo de la temperatura media, la humedad relativa y la evapotranspiración potencial media anual en la cuenca.

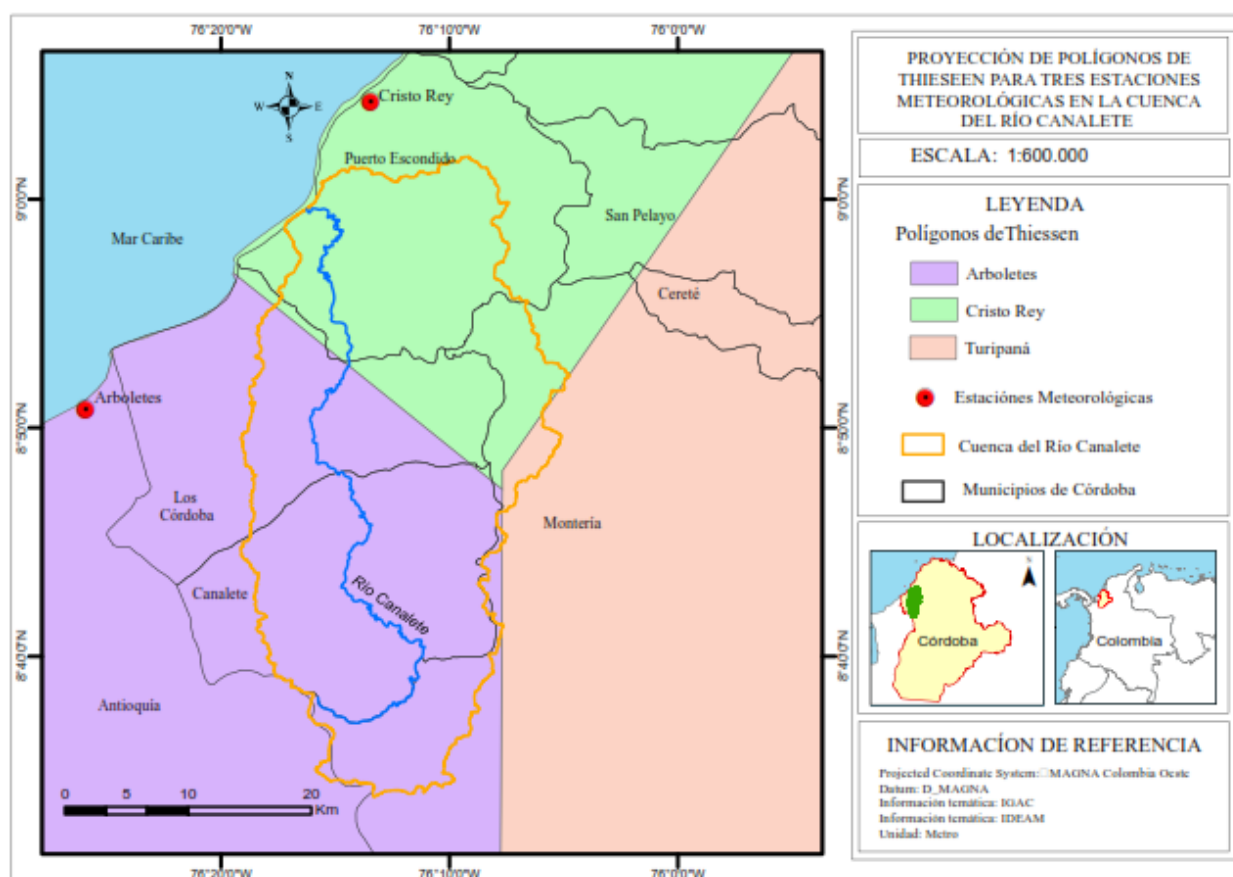


Figura 6. Distribución de los polígonos de Thiessen para tres estaciones en la cuenca del río Canalete.

Tabla 7. *Distribución de áreas de influencia para las tres estaciones en la cuenca del río Canalete.*

Estación	Área (ha)	Porcentaje
Cristo Rey	35.165	38,3%
Turipaná	1.524	1,7%
Arboletes	55.110	60,0%
	91.799	100,0%

## 5. RESULTADOS Y DISCUSION

### 5.1. Cambio de uso del suelo en la cuenca del río Canalete para el periodo 1972-2017.

En la tabla 8 se presenta el área de las coberturas identificadas en cada periodo analizado. Se puede observar que desde el año 1973 se evidencia una disminución paulatina en la cobertura boscosa y un aumento del área cubierta por pastos. Desde el 2001, la disminución en la cobertura boscosa se aceleró considerablemente, hasta reducirse en un 50% para el año 2017. Esta disminución se debe a las continuas actividades de tala, deforestación y expansión de la frontera agropecuaria (DANE, CVS, & SISAC, 2006). El Plan de Ordenamiento Territorial POT del municipio de Canalete, resalta la problemática en la cual se enfrenta la cuenca por la continua desaparición de bosques primarios y la deforestación progresiva en las microcuencas, favoreciendo procesos erosivos por los escurrimientos y con la consecuente degradación de la capa vegetal (Alcaldía de Canalete, 2015).

Tabla 8. *Áreas para cada cobertura en cada periodo analizado.*

Cobertura	1973		1986		1991		2001		2017	
	Área (ha)	Porcentaje (%)	Área (ha)	Porcentaje (%)	Área (ha)	Porcentaje (%)	Área (ha)	Porcentaje (%)	Área (ha)	Porcentaje (%)
Bosque	23.284	25	21.962	24	17.986	20	17.986	20	8.825	10
Pasto	12.901	14	22.715	25	35.740	39	41.266	45	63.543	69
Sombras y Nubes	21.794	24	1.614	2	8.405	9	17.564	19	612	1
Vegetación Secundaria	33.684	37	45.383	50	29.528	32	14.842	16	18.662	20
Total	91.662	100	91.673	100	91.658	100	91.658	100	91.641	100

Por su parte la cobertura de vegetación secundaria mostró un comportamiento variado para los periodos analizados, presentándose en algunos casos disminución y en otro aumento en sus coberturas. En la figura 7 y anexo 2, se pueden apreciar los mapas de coberturas para cada año, así como la variación en cada periodo.



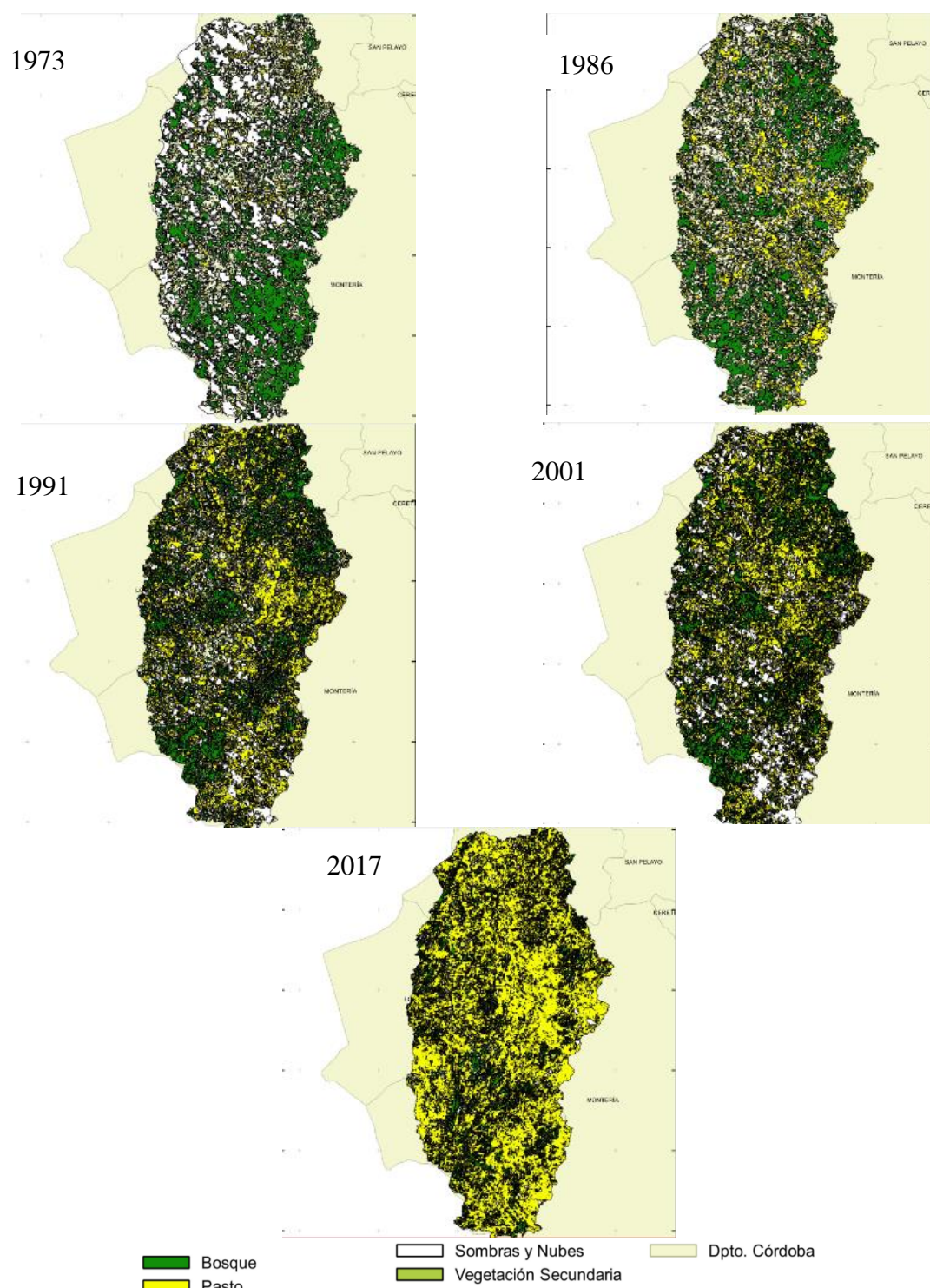


Figura 7. Variación temporal de las coberturas sobre la cuenca del río Canalete.

El cambio en los tipos de coberturas es notorio, especialmente los pastos, los cuales se extiende a partir del año 1986 desde la zona central de la cuenca hasta el sector nororiental. Para el año 2017,

se aprecia que el 69% del área de la cuenca está representada por cobertura de pastos, lo que coincide con lo reportado por el Ministerio de Agricultura para el año 2013, donde informa un incremento en la extensión de este tipo de coberturas (Minagricultura, 2013).

### 5.1.2. Variación en las coberturas de uso del suelo en la cuenca del río Canalete.

Con la información de las coberturas de cada periodo analizado, se calculó la variación porcentual de los cambios en las coberturas. Una variación positiva, indica crecimiento o expansión de la cobertura, mientras que una variación negativa es indicativa de reducción o disminución de la cobertura. Como se evidencia en la tabla 9 y la figura 8, la cobertura de pastos presento un crecimiento constante acelerado en cada periodo analizado, mientras que la cobertura de bosques disminuyó en cada uno de ellos, manteniéndose estable para el periodo comprendido entre 1991-2001, el periodo que presentó mayor variación de pastos y bosques, considerando la variación absoluta, fue el comprendido entre los años 2001-2017, donde la disminución en la cobertura boscosa fue proporcional al incremento de pastos, coincidiendo con las problemáticas generales encontradas, por su parte la vegetación secundaria tuvo un comportamiento variable.

Tabla 9. *Variaciones de las coberturas para cada periodo analizado.*

Cobertura	Año	1973	1986	1991	2001	2017
Bosque	Área (ha)	23.284	21.962	17.986	17.986	8.825
	Variación (%)		-5,7%	-18,1%	0,0%	-50,9%
Pasto	Área (ha)	12.901	22.715	35.740	41.266	63.543
	Variación (%)		76,1%	57,3%	15,5%	54,0%
Sombras y Nubes	Área (ha)	21.794	1.614	8.405	17.564	612
	Variación (%)		-92,6%	420,8%	109,0%	-96,5%
Vegetación Secundaria	Área (ha)	33.684	45.383	29.528	14.842	18.662
	Variación (%)		34,7%	-34,9%	-49,7%	25,7%

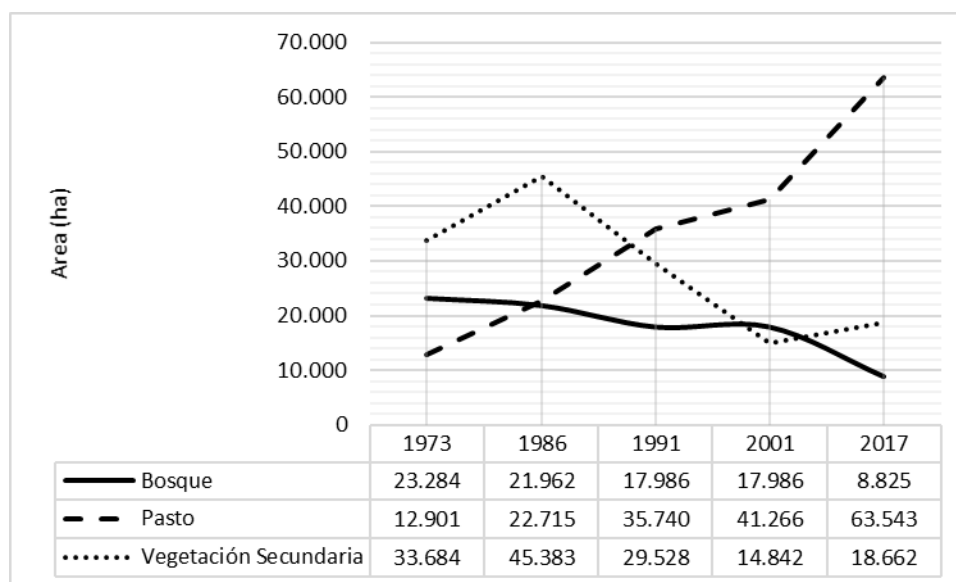


Figura 8. Comportamiento de la evolución de la modificación de coberturas 1973 -2017

A partir de lo anterior, se estableció la variación total de las coberturas en el periodo 1973 a 2017 (tabla 10), en donde tanto la cobertura de bosques como la de vegetación secundaria sufrieron una disminución del 62,1% y del 44,6% respectivamente, en consecuencia esta disminución de especies vegetales y ejemplares forestales, reduce grandemente los servicios ecosistémicos que prestan los bosques como reguladores de temperatura y retenedores hidrológicos naturales (Balvanera, 2012). En contraste, la cobertura de pastos incrementó en un 392,5%, esto pone de presente una problemática social la cual se sintetiza en la actividad ganadera extensiva que se ejerce en la cuenca, generando fuertes problemas de conflictos de suelo según lo especificado en PORH del río Canalete.

Tabla 10. Variación total de las coberturas para el periodo analizado, 1973 - 2017.

Cobertura	1973	2017	Variación
	Área (ha)	Área (ha)	
Bosque	23.283,85	8.825,05	-62,1%
Pasto	12.901,08	63.542,51	392,5%
Sombras y Nubes	21.793,73	611,71	-97,2%
Vegetación Secundaria	33.683,57	1.8661,61	-44,6%

### **5.1.3. Efectos del cambio de uso de suelo sobre la cuenca.**

Los efectos que produce el cambio en el uso del suelo afectan de diversas formas las características físicas, hidrológicas y biológicas de la cuenca del río Canalete. Teniendo en cuenta que actualmente la mayor parte de la cuenca se compone de pastos, la capacidad de retención y almacenamiento de agua, reciclaje de nutrientes y variabilidad biológica se ven afectadas. Las coberturas de pastos intervienen directamente con el drenaje subsuperficial, debido a la alta densidad de raíces, el suelo se satura con facilidad acumulándose sobre la superficie, reduciendo los procesos de infiltración y aumentando la evaporación del agua (Lopes, Marenzi, & de Almeida, 2018). De igual forma, la saturación superficial del agua, genera pérdida de oxígeno en el suelo, afectando el sistema radicular de la vegetación para los meses húmedos (Yaeger, Sivapalan, McIsaac, & Cai, 2013). A su vez, la poca absorción de agua en el suelo aumenta los procesos de evapotranspiración y pérdida de nutrientes solubles (Hahn et al., 2013).

Lo anterior implica, que la calidad de los suelos a nivel de cuenca esté en deterioro, dada las afectaciones sobre las características fisicoquímicas mencionadas (Lopes et al., 2018), agregando el reciente aumento de la actividad agropecuaria para inicios de los 90's, según lo manifestado por algunos lugareños en las visitas de verificación realizadas en campo.

### **5.2. Variación temporal del clima en la cuenca del río Canalete.**

Para determinar la variabilidad del clima en la cuenca del río Canalete, se tomaron los registros históricos de las seis estaciones presentes en el área de influencia desde 1972, calculándose los valores anuales de precipitación, evapotranspiración y valores promedio anuales de temperatura y humedad relativa.

### 5.2.1. Comportamiento de la precipitación.

Los valores históricos de precipitación promedio mensual multianual para los años 1972 al 2017, se presentan en la figura 9. Se observa, un periodo de sequía, comprendido entre los meses de diciembre a marzo, presentándose un incremento en las precipitaciones de carácter bimodal para el mes de mayo hasta junio y de agosto hasta octubre. Este comportamiento se mantuvo similar en todas las estaciones, con ligeras variaciones en las estaciones Turipaná y Arboletes.

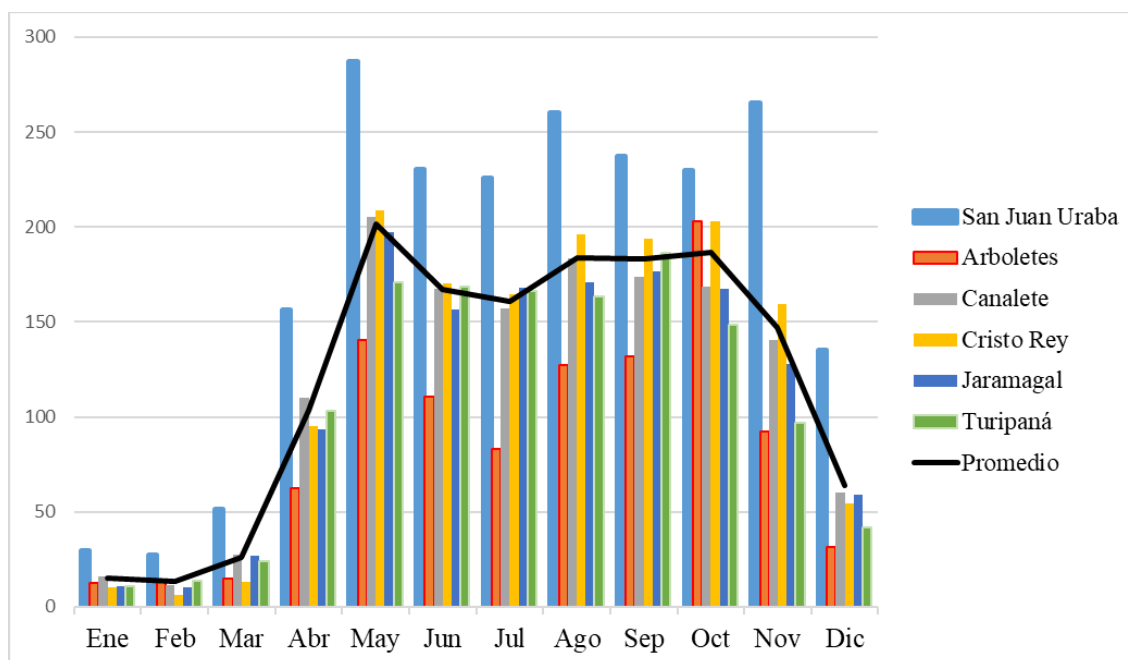


Figura 9. Comportamiento de precipitación promedios mensuales multianuales de las estaciones en el área de influencia de la cuenca del río Canalete.

- **Análisis general de la precipitación.**

Los análisis de tendencia de la precipitación se presentan en la figura 10, en donde se observa que las estaciones Cristo Rey y Arboletes presentan una disminución entre el 5,81 % y 53 % respectivamente; equivalentes a pérdidas de 85,8 y 832,8 mm respectivamente. Las estaciones Jaramagal y Turipana presentaron incrementos de 8,9 % y 19,3 %, que representan ganancias de 121,1 mm y 247,1 mm.

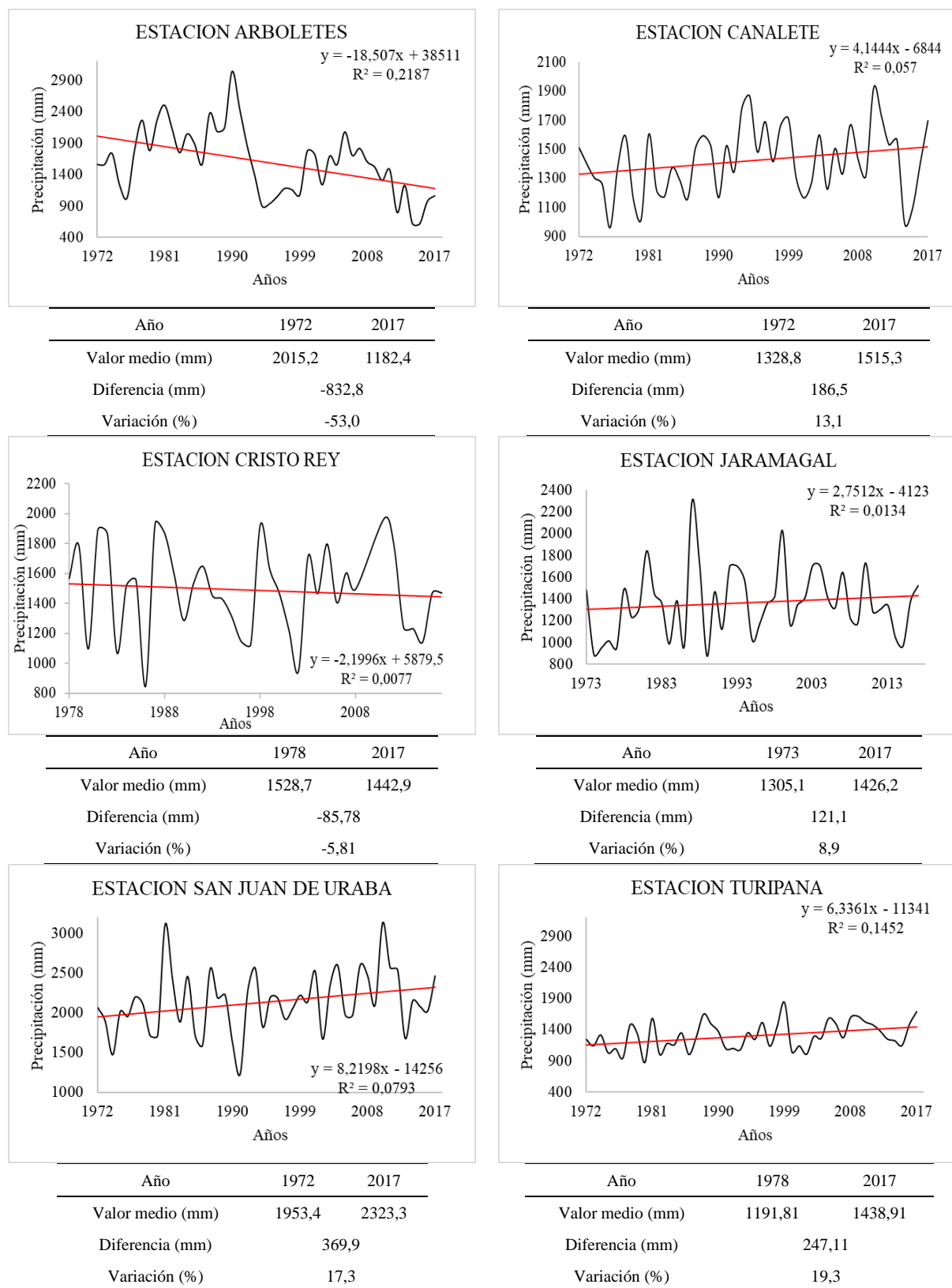


Figura 10. Comportamiento de la precipitación para cada estación en el periodo 1972-2017.

En las figuras 11 a 16 se puede observar el comportamiento de la precipitación de las estaciones en los cuatro periodos analizados (1972-1987, 1984-1993, 1990-2002 y 2000-2017), donde se aprecian las variaciones de las líneas de tendencia promedio en el transcurrir del tiempo.

- **Análisis de precipitación en la estación Arboletes.**

En las figuras 11 se muestra el comportamiento de la precipitación en la estación de Arboletes, observando que dicho comportamiento es variable, aumentando en los dos primeros periodos, en donde la máxima ganancia se presentó en los años 1972-1987, con un aumento del 40,8%, equivalente a 640,36 mm y disminuyendo significativamente en los dos últimos periodos, el decrecimiento máximo se presentó en los años 2000-2017, con una pérdida del 46,5%, equivalentes a 1.012,55 mm.

Tomando como base los años de El Niño y La Niña presentados en la figura 1, se observa que solo los años 2015 (El Niño) y 2011 (La Niña), coinciden con los años extremos de precipitación por debajo de la media para El Niño y por encima de la media para La Niña, no obstante, por no ser generalizados, es decir, por no existir más coincidencias, indicaría que la variabilidad de las precipitaciones y ocurrencia de valores extremos en la zona de estudio, no son explicadas en su totalidad por los fenómenos El Niño y La Niña, tal como fue consignado en el PORH (CVS, 2017).

Contrastando el comportamiento de la modificación de coberturas de la figura 8, con cada uno de los periodos de la figura 11, puede apreciarse que es posible que el aumento de la precipitación presentada en el primer periodo corresponda a la mayor cobertura que existía de bosque y vegetación secundaria donde se contaba con 450,8 km<sup>2</sup>, no obstante, en los siguientes periodos al

aumentar la cobertura de pastos (pasando de 129,0 km<sup>2</sup> a 635,4 km<sup>2</sup>), es posible que allá afectado el comportamiento de esta variable climática en esta estación.

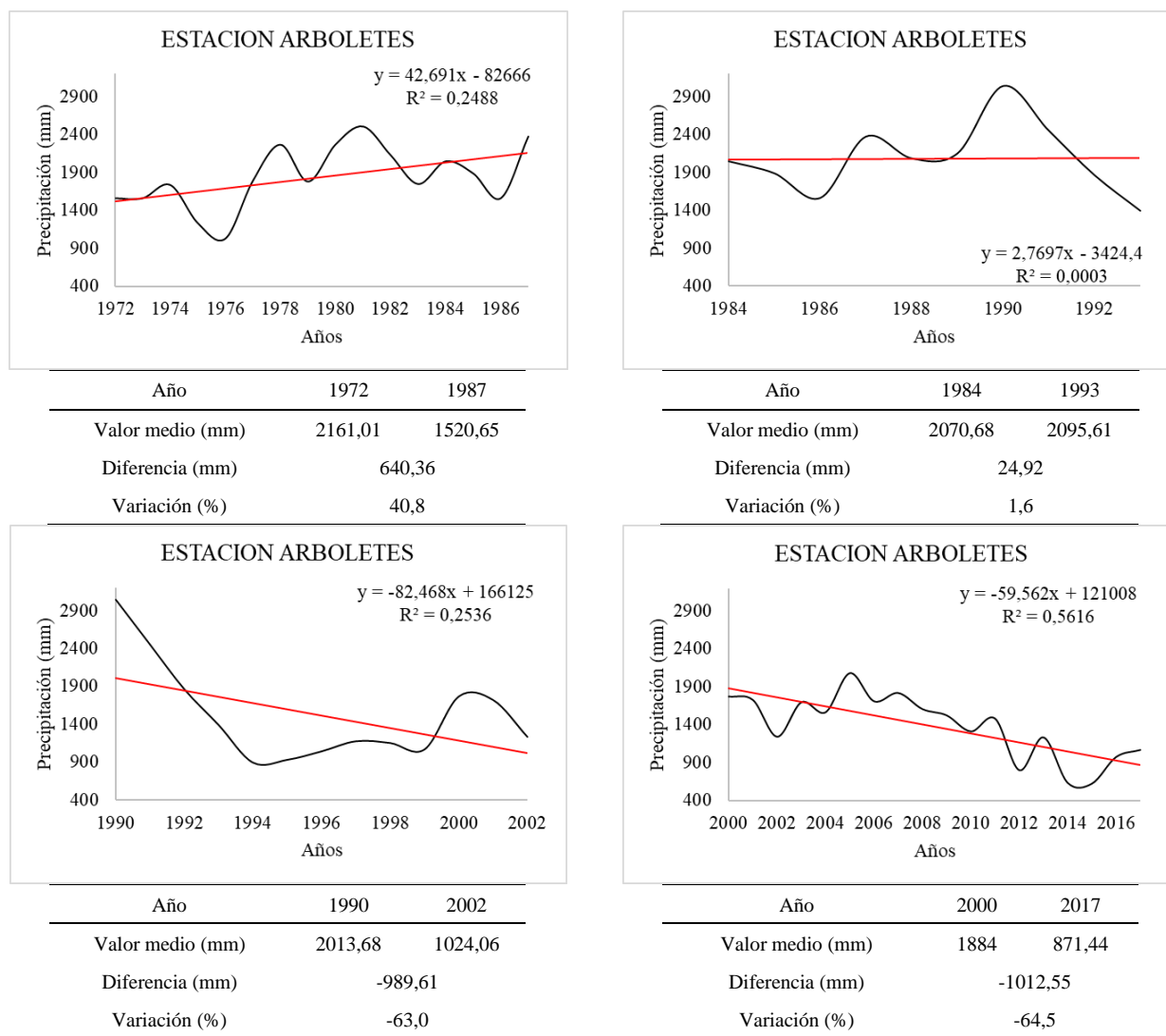


Figura 11. Comportamiento de la precipitación para la estación Arboletes.

- Comportamiento de la precipitación en la estación Canalete.**

En la figura 12, se aprecia que el comportamiento de la precipitación promedio anual para la estación Canalete ha sido variable, tanto el primer y tercer periodo presentan disminución, donde la mengua de precipitación máximo se presentó en el lapso 1990-2002, con un 9,3%, equivalente



a 131,7 mm, y el segundo y cuarto periodo presentaron incremento con una variación máxima del 8,6%, equivalente a 263,5 mm entre los años 1984-1993.

Tomando como base los años de los eventos extremos de El Niño y La Niña, referenciados en la figura 1, y los eventos extremos que están alejados de la media de la precipitación, se observa que solo los años 1983, 1992, 2004, 2009 y 2015 (El Niño) y 1988, 1998, 1999, 2007 y 2010 (La Niña), coinciden con los años extremos de precipitación por debajo de la media para El Niño y por encima de la media para La Niña, no obstante, al no existir más coincidencias, es decir, al no ser generalizado demuestra que el comportamiento normal de esta variable climática no está influenciada con el fenómeno ENSO.

Por otra parte, contrastando el comportamiento de las coberturas (figura 8), con cada uno de los periodos de la figura 12, puede apreciarse que para la zona donde está ubicada la estación de Canaleta, existe una baja o nula influencia de la modificación de las coberturas con el comportamiento de esta variable.

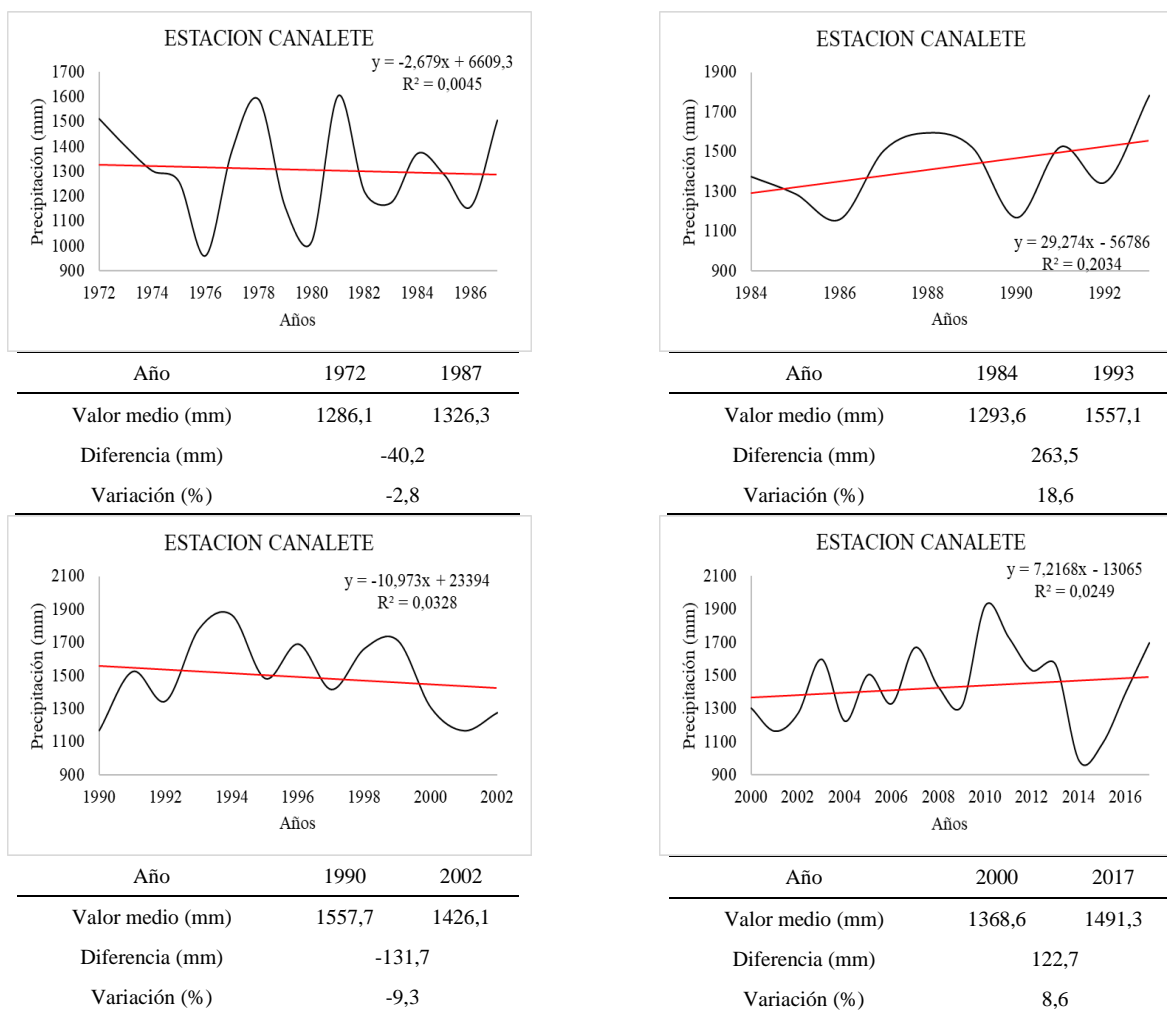


Figura 12. Comportamiento de la precipitación para la estación Canalete.

- Comportamiento de la precipitación en la estación Cristo Rey.**

En la estación Cristo Rey (Figura 13), al igual que la estación de Canalete, el comportamiento de la precipitación promedio anual ha sido variable, de los cuatro periodos, tanto el primero y tercero presentan disminución, donde la pérdida máxima de precipitación se presentó en los años 1990-2002, con el 13,24%, equivalente a 195,35 mm, y para el segundo y cuarto periodo presentaron incremento, en donde la máxima ganancia se presentó en los años 1984-1993, con el 4,45%, aumentando en 65,63 mm.

Tomando como base los años de los eventos extremos de El Niño y La Niña, referenciados en la

figura 1, y los eventos extremos que están alejados de la media de la precipitación, solo presentan coincidencias en los años 1983, 1997, 2002 y 2015 (El Niño), 1985, 1988, 1998, 2010 y 2011 (La Niña), no obstante, al no ser generalizados, no demuestran que el fenómeno ENSO tenga influencia en el comportamiento normal de esta variable climática.

Por otra parte, contrastando el comportamiento de la dinámica de la modificación de coberturas en la figura 8, con cada uno de los periodos de la figura 13, puede apreciarse que para la zona donde está ubicada esta estación, existe una baja o nula influencia de la modificación de las coberturas con el comportamiento de la precipitación.

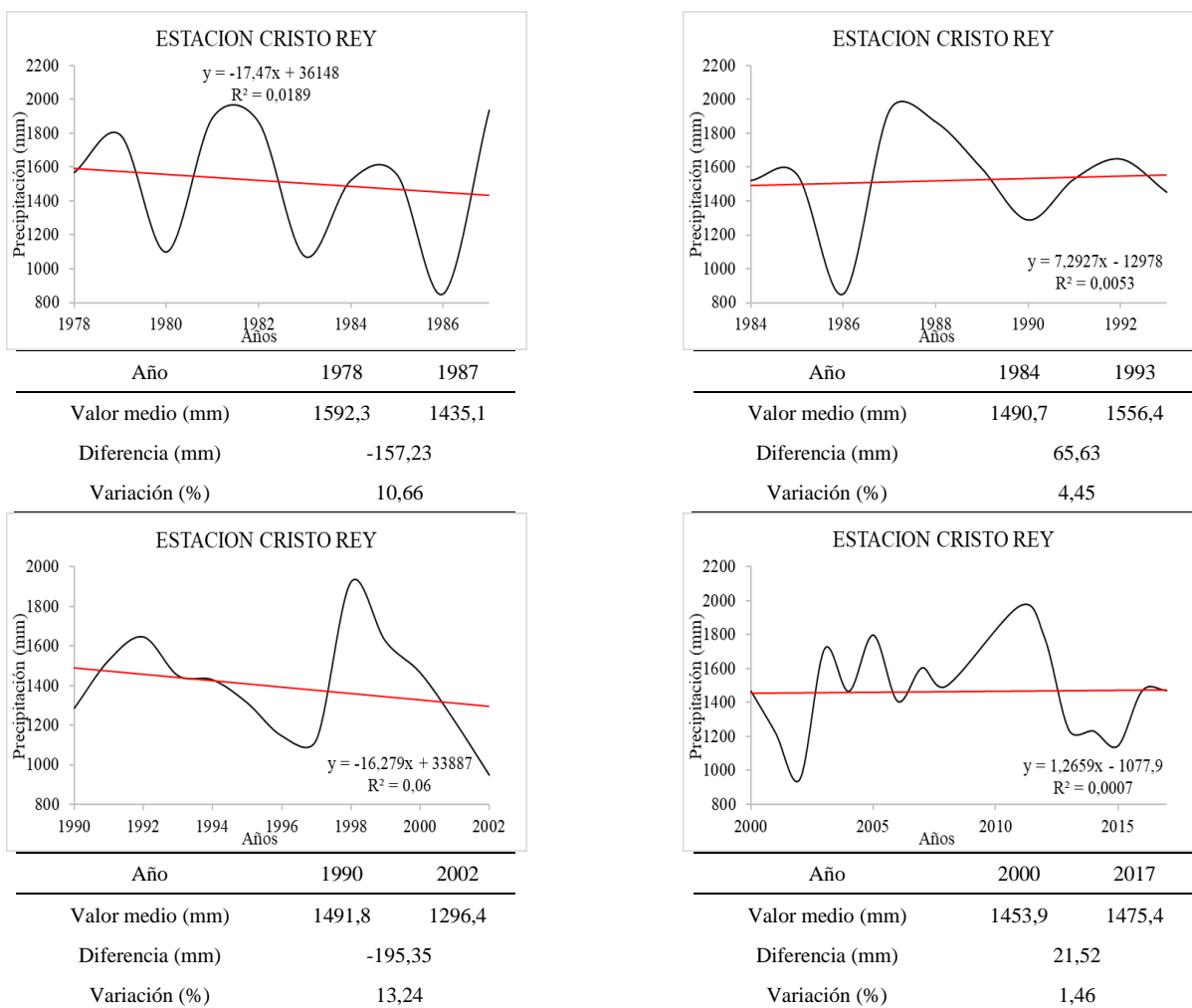


Figura 13. Comportamiento de la precipitación para la estación Cristo Rey.

- **Comportamiento de la precipitación en la estación Jaramagual.**

Para la estación Jaramagal (Figura 14), el comportamiento de la precipitación promedio anual, en los dos primeros periodos analizados presentaron aumento, siendo el máximo incremento en los años 1973-1987, con el 36,8%, equivalente a 502,3 mm y en los dos últimos periodos presenta un decrecimiento, aquí el máximo se presentó en los años 2000-2017, con el 13,6%, con una pérdida de 185,2 mm.

De acuerdo con los años de los eventos extremos de El Niño y La Niña, referenciados en la figura 1, y los eventos extremos que están alejados de la media de la precipitación, solo presentan coincidencias en los años 1991, 2009 y 2015 (El Niño), 1973, 1999, 2007 y 2010 (La Niña), sin embargo, al no ser generalizados, demostrarían que el fenómeno ENSO tengan influencia con el comportamiento de la precipitación en esta estación.

Considerando el comportamiento de las coberturas (figura 8), con cada uno de los periodos de la figura 14, puede apreciarse al igual que la estación de Arboletes, la posibilidad que el aumento de la precipitación presentada en el primer periodo corresponda a la mayor cobertura que existía de bosque y vegetación secundaria, no obstante, en los siguientes periodos al aumentar la cobertura de pastos (pasando de 129,0 km<sup>2</sup> a 635,4 km<sup>2</sup>), es posible que allá afectado el comportamiento de esta variable climática en la estación Jaramagual.

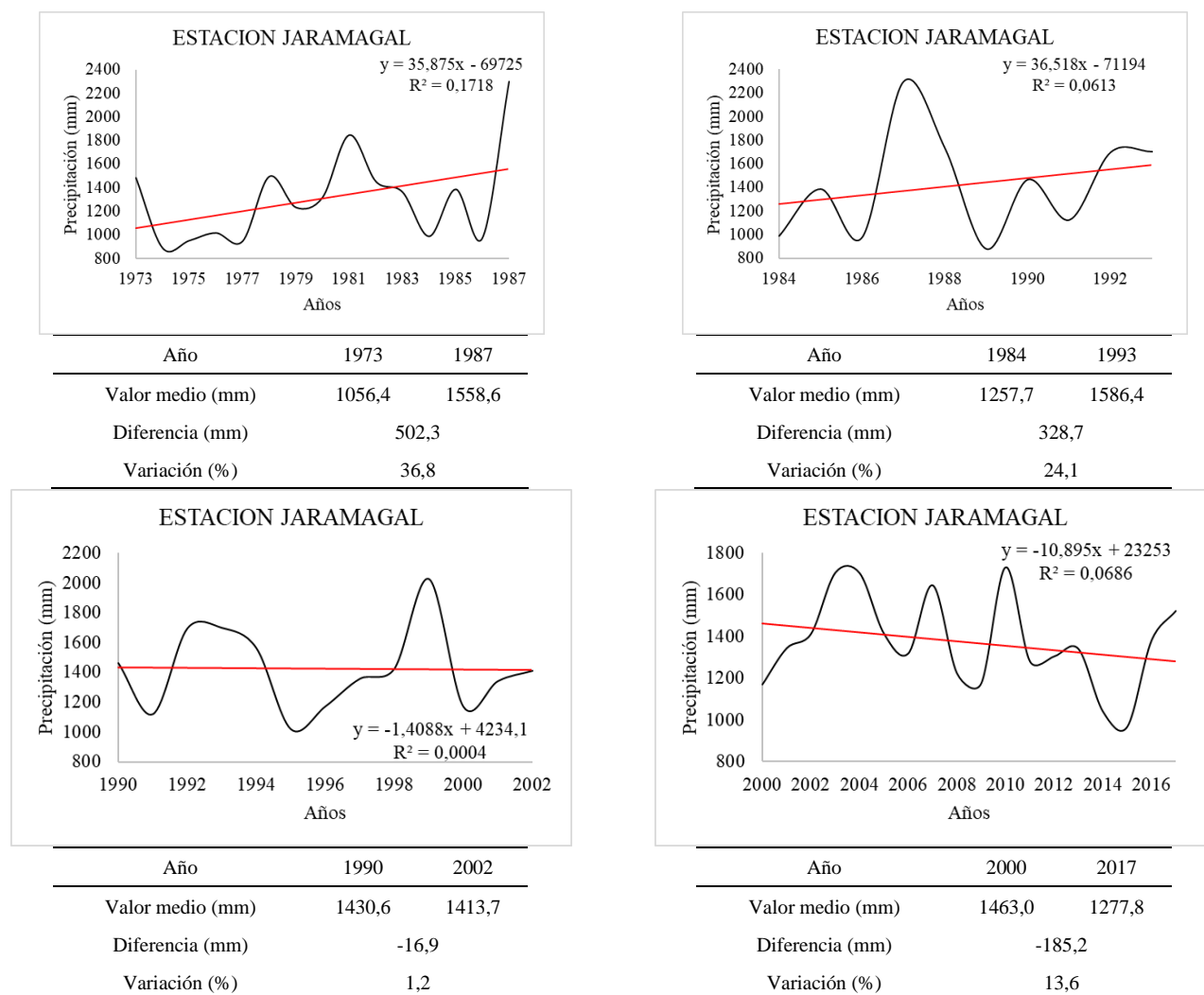


Figura 14. Comportamiento de la precipitación para la estación Jaramagal.

### • Comportamiento de la precipitación en la estación San Juan de Uraba.

En la estación San Juan de Uraba (Figura 15), el comportamiento de la precipitación promedio anual ha sido variable, no obstante, tanto el primero como el tercero periodo (1972-1987, 1990-2002), presentan el mayor crecimiento del 14,1 y del 16,8%, aumentando hasta 358,7mm, y permaneció estable para el segundo y el cuarto (1984-1993, 2000-2017), tendió 0,0 %. De acuerdo con los años de los eventos de El Niño y La Niña, referenciados en la figura 1 y los eventos extremos que están alejados de la media de la precipitación, se observa que solo presentan coincidencias en los años 1983, 1991 y 2002 (El Niño), 2007, 2010 y 2011 (La Niña), no obstante,

al no existir más coincidencias, es decir, al no ser generalizado, no son significativos que demuestren que el fenómeno ENSO tengan influencia en el comportamiento de esta variable climática.

Observando el comportamiento de las coberturas (figura 8), con cada uno de los periodos de la figura 15, puede apreciarse que en la zona donde está ubicada esta estación, existe una influencia de la modificación de las coberturas con el comportamiento de la variable climática, que es inversa, donde el incremento de la cobertura de pastos disminuye la precipitación en el área de influencia de la estación.

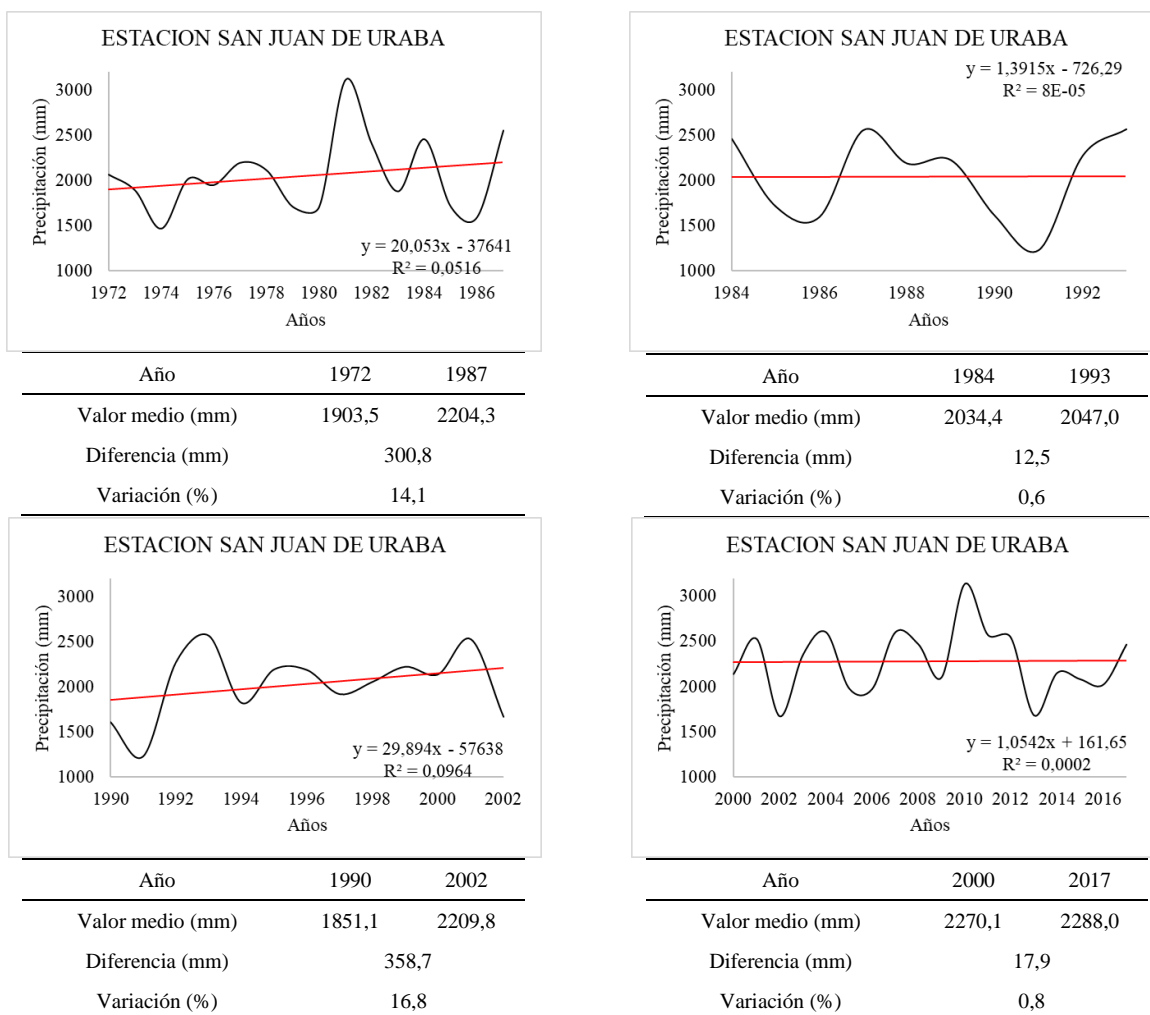


Figura 15. Comportamiento de la precipitación para la estación San Juan de Urabá.

- **Comportamiento de la precipitación en la estación Turipana.**

Para la estación Turipaná (Figura 16), el comportamiento de la precipitación promedio anual ha sido variable, no obstante, solo el segundo periodo (1984-1993), presento pérdidas del 7,8%, y el cuarto (2000-2017), presento la mayor ganancia del 22,4% al igual que la estación Arboletes. Por otra parte los años de los eventos extremos de El Niño y La Niña, referenciados en la figura 1, y los eventos extremos que están alejados de la media de la precipitación, solo presentan coincidencias en los años 2002 y 2015 (El Niño), 1988, 1999 y 2008 (La Niña), no obstante, al no existir más coincidencias, es decir, al no ser generalizado, demuestra que el fenómeno ENSO no tiene influencia en el comportamiento de la precipitación , tal como lo manifiesta el PORH (CVS, 2017).

Con relación al comportamiento de la modificación de coberturas (figura 8), con cada uno de los periodos de la figura 16, puede apreciarse que para la zona donde está ubicada esta estación, existe una baja o nula influencia de la modificación de las coberturas con el comportamiento de esta variable.

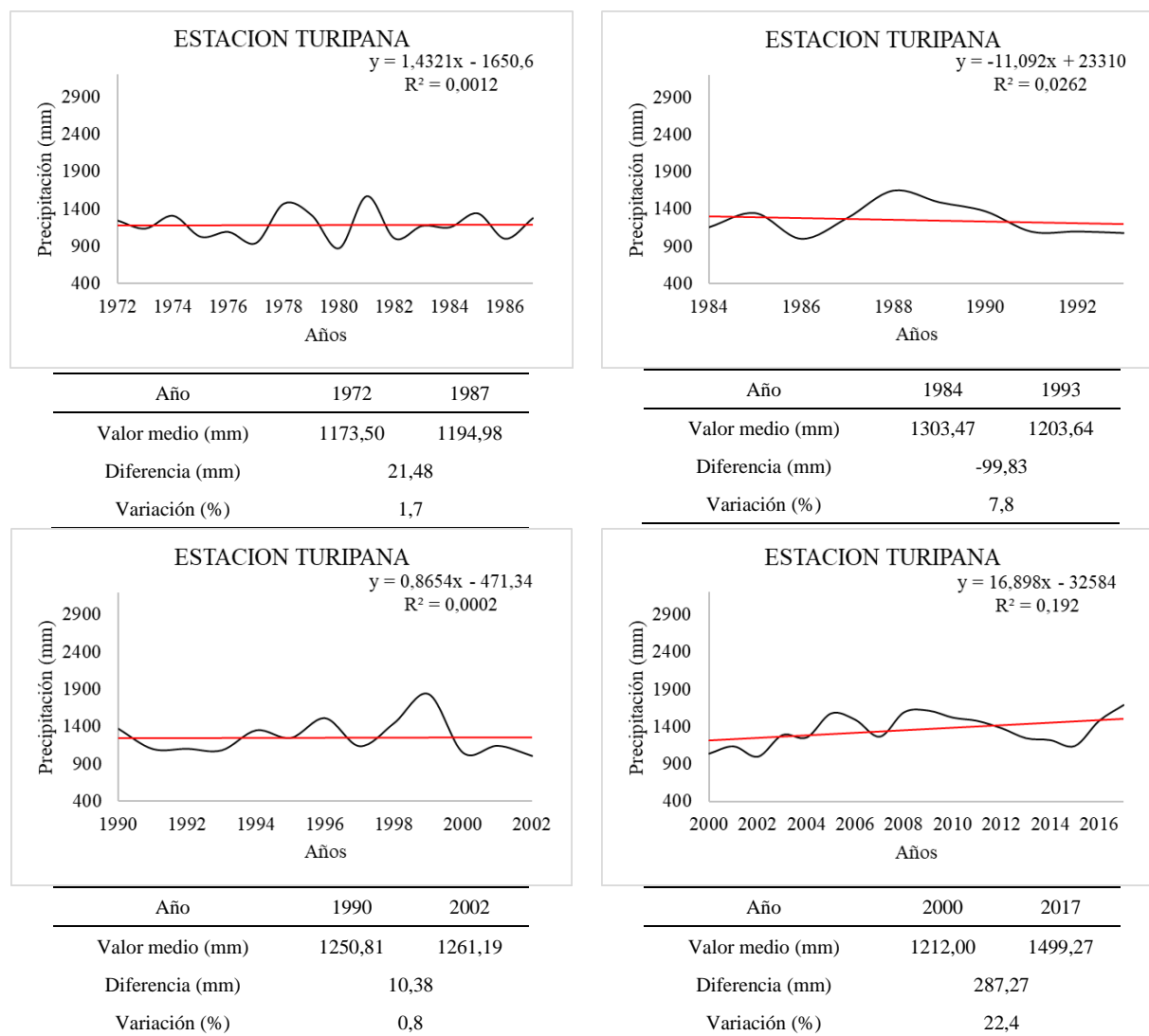


Figura 16. Comportamiento de la precipitación para la estación Turipaná.

## 5.2.2. Comportamiento de la temperatura.

### • Análisis general de la Temperatura.

En la figura 17, se presenta el comportamiento de la temperatura media multianual; observando un claro incremento en el periodo de estudio para cada estación analizada del año 1972 al 2017. Para la estación de Arboletes el incremento fue del 1,8% con respecto al promedio, lo cual representa 0,21°C; 2,26% para la estación de Cristo Rey, con 0,31°C y la estación de Turipaná registró el mayor incremento cercano al 6,6% con 0,97°C. Un análisis detallado de la estación



Turipaná, muestra que el periodo 1984 -1993 se presentó el pico máximo de temperatura con valor de 1,49 °C por encima del promedio anual. Estos incrementos concuerdan con los estudios de Alzate et al., 2015; Figueroa, 2016 y Zahaira et al., 2018; los cuales consideran que puede ser un indicador para determinar fenómenos de variabilidad climática local. De acuerdo a Zabaleta et al., (2018) un incremento de tal magnitud representa un peligro para el equilibrio ecosistémico y sus consecuentes implicaciones ambientales.

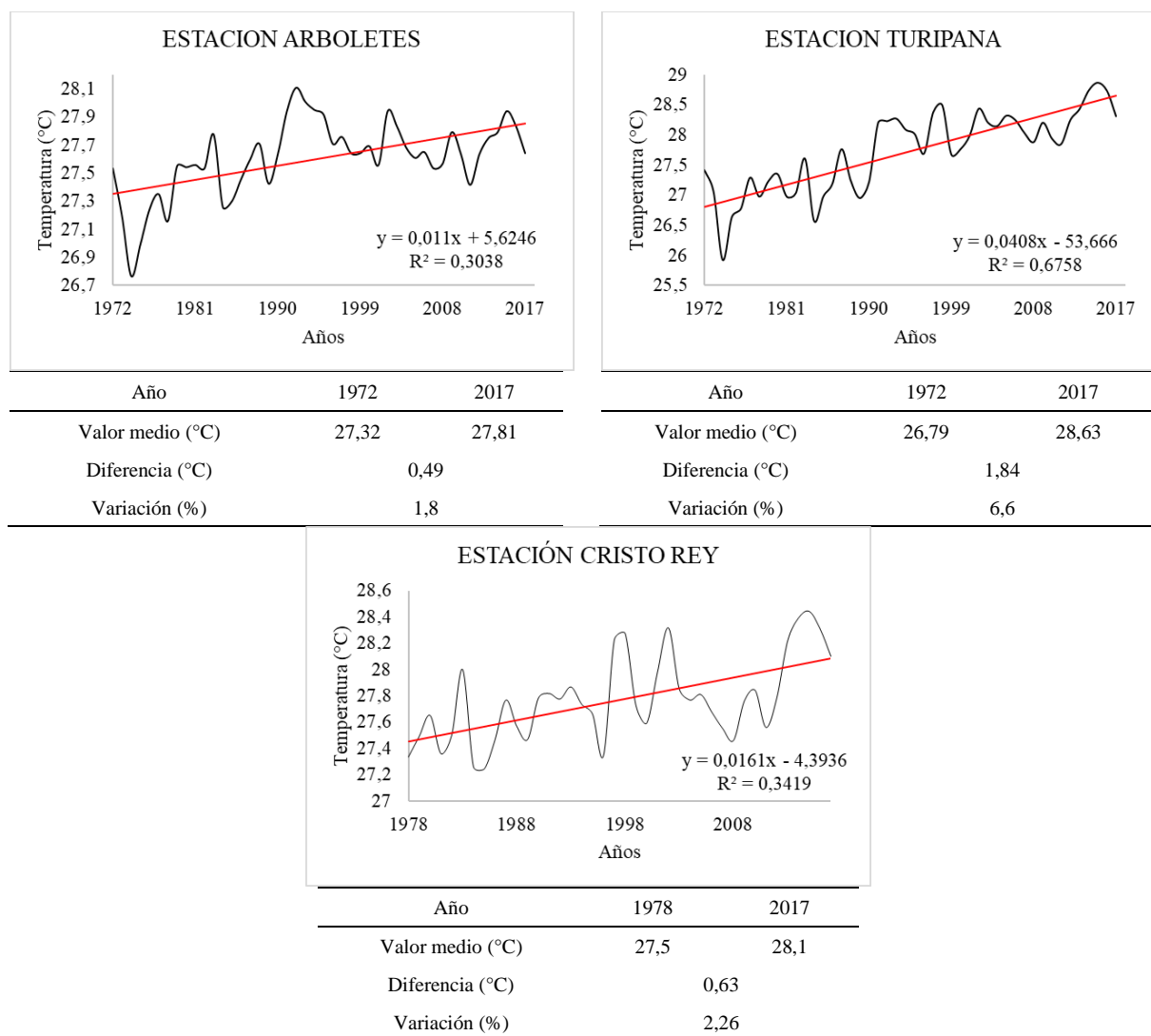


Figura 17. Variación en la temperatura para las estaciones de Arboletes, Turipaná y Cristo Rey durante el periodo 1972-2017.

- **Comportamiento de la temperatura en la estación Arboletes.**

Para la estación Arboletes (Figura 18), el comportamiento de la temperatura promedio anual ha sido variable, donde solo en el tercer periodo (1990-2002), se presentó una reducción de la temperatura del 0,9% bajando la temperatura en  $0,24^{\circ}\text{C}$ , en los demás periodos se presentó incremento de hasta un 2,9%, en el segundo (1984-1993) aumentando  $0,79^{\circ}\text{C}$ .

Tomando como base los años de El Niño y La Niña presentados en la figura 1, se observa que solo los años 1972, 1983, 1992, 2002 y 2015 (El Niño) y 1974, 2007 y 2011 (La Niña), coinciden con los años extremos de temperatura por encima de la media para El Niño y por debajo de la media para La Niña, no obstante, al no existir más coincidencias, es decir, al no ser generalizado, demostraría que el fenómeno ENSO no tiene influencia con el comportamiento de la temperatura.

Contrastando el comportamiento de las coberturas (figura 8), con cada uno de los periodos de la figura 18, puede apreciarse que el posible incremento de la temperatura presentada corresponda al incremento acelerado de la cobertura de pastos (que pasa de  $129,0\text{ km}^2$  a  $635,4\text{ km}^2$ ), en donde para la región donde está ubicada esta estación, en el tercer periodo (1990-2002), la desaceleración del incremento de la cobertura de pastos pudo ayudar a disminuir la temperatura.

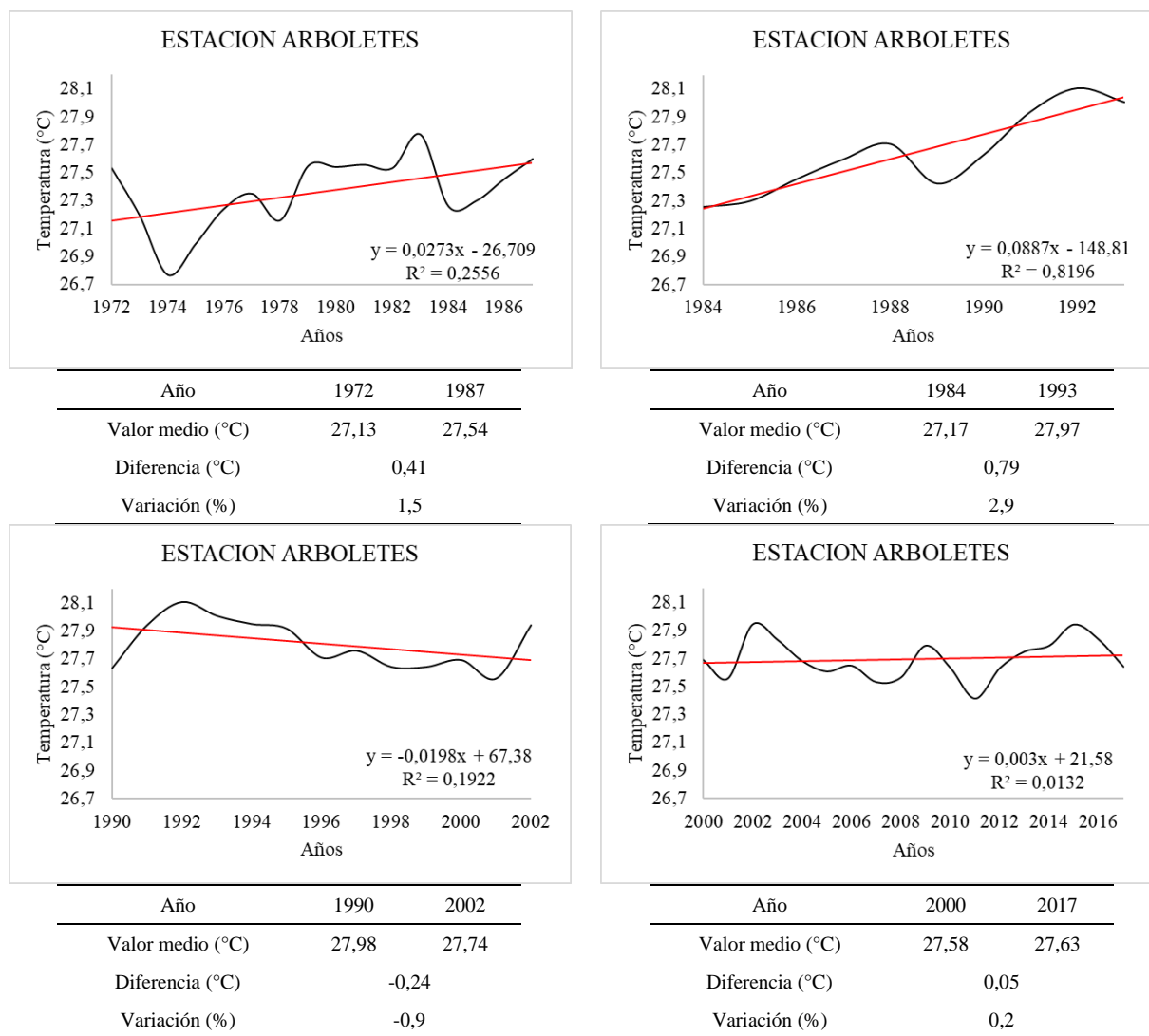


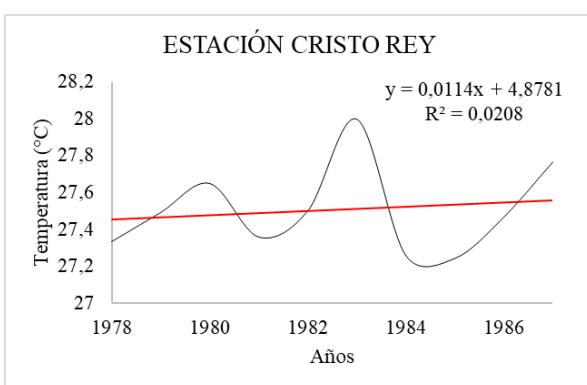
Figura 18 Comportamiento de la temperatura para la estación Arboletes.

- Comportamiento de la temperatura en la estación Cristo Rey.**

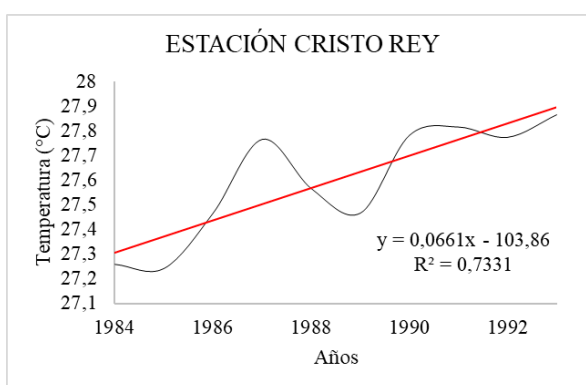
En la estación Cristo Rey (Figura 19), el comportamiento de la temperatura promedio anual ha sido de incrementos constantes, donde el primer periodo (1978-1987), presentó el menor incremento del 0,37% teniendo una ganancia de 0,1°C, teniendo que el mayor incremento se dio en el segundo periodo (1984-1993), con un 2,14% aumentando la temperatura en 0,6°C. Tomando como base los años de El Niño y La Niña presentados en la figura 1, se observa que solo los años 1983, 1987, 2002 y 2015 (El Niño) y 1985, 2000, 2008 y 2011 (La Niña), coinciden con los años

extremos de temperatura por encima de la media para El Niño y por debajo de la media para La Niña, no obstante, al no existir más coincidencias, es decir, al no ser generalizado, demostraría que el fenómeno ENSO no tiene influencia con el comportamiento de esta variable climática.

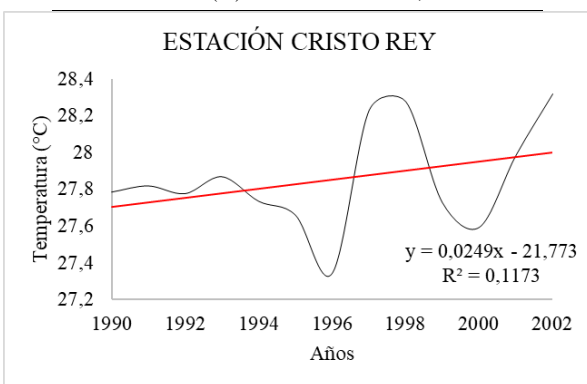
En relación con el comportamiento de las coberturas (figura 8), con cada uno de los periodos de la figura 19, puede apreciarse que el posible aumento de la temperatura presentada corresponda al incremento acelerado de la cobertura de pastos.



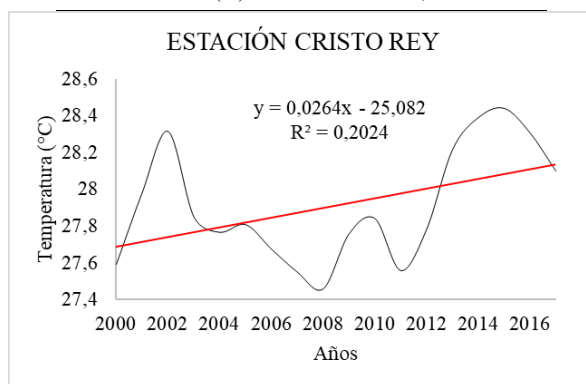
Año	1978	1987
Valor medio (°C)	27,43	27,53
Diferencia (°C)	0,1	
Variación (%)	0,37	



Año	1984	1993
Valor medio (°C)	27,28	27,88
Diferencia (°C)	0,6	
Variación (%)	2,14	



Año	1990	2002
Valor medio (°C)	27,78	28,08
Diferencia (°C)	0,3	
Variación (%)	1,08	



Año	2000	2017
Valor medio (°C)	27,72	28,17
Diferencia (°C)	0,4	
Variación (%)	1,62	

Figura 19. Comportamiento de la temperatura para la estación Cristo Rey.

- **Comportamiento de la temperatura en la estación Turipana.**

La estación de Turipana (Figura 20), al igual que la estación Cristo Rey, el comportamiento de la temperatura promedio anual ha sido de incrementos constantes, donde en el tercer periodo (1990-2002), presentó el menor incremento del 0,9% aumentando solo 0,9°C, teniendo la mayor ganancia en el segundo (1984-1993), con un 5,4% aumentando la temperatura en 1,49°C.

En cuanto al fenómeno del ENSO, tomando como base los años de El Niño y La Niña presentados en la figura 1, se observa que solo los años 1972, 1983, 1987, 1991, 2002 y 2015 (El Niño) y 1974, 1999, 2008 y 2011 (La Niña), coinciden con los años extremos de temperatura por encima de la media para el Niño y por debajo de la media para la Niña, no obstante, al no existir más coincidencias, es decir, al no ser generalizado, demostraría que el fenómeno ENSO no tiene influencia con la temperatura, tal como fue consignado en el PORH (CVS, 2017).

El caso del comportamiento de las coberturas (figura 8), con cada uno de los periodos de la figura 20, puede apreciarse que el posible aumento de la temperatura presentada corresponda al incremento acelerado de la cobertura de pastos.

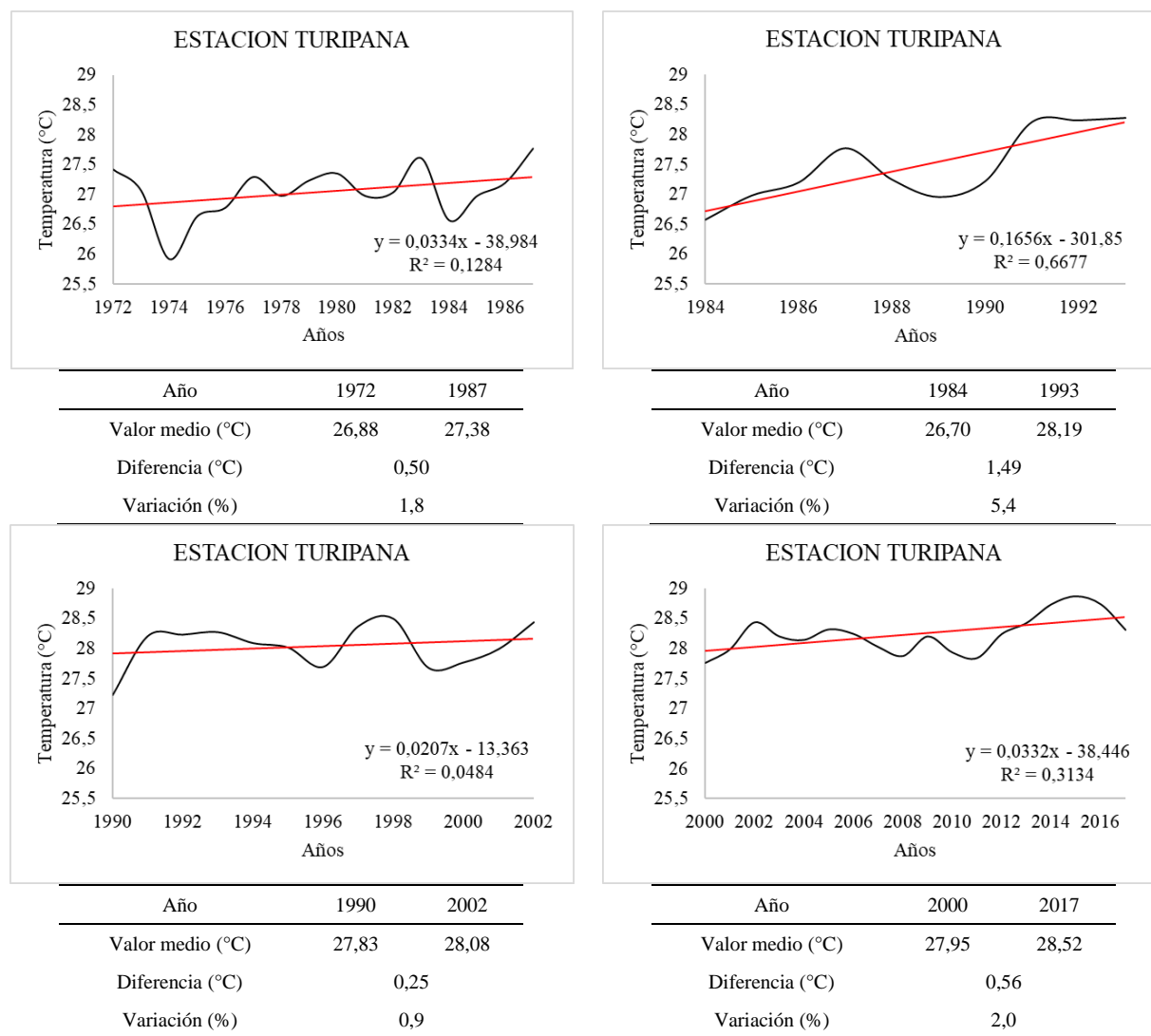


Figura 20. Comportamiento de la Temperatura para la estación Turipana.

En términos generales en el periodo comprendido entre 1984 a 1993 se presentaron los mayores incrementos en todas las estaciones de estudio; la estación de Turipana fue la de mayor variabilidad.

### 5.2.3. Comportamiento de la humedad relativa.

#### • Análisis general de la humedad relativa.

En la figura 21 puede apreciarse el comportamiento de la humedad relativa en el periodo analizado.

Para la estación de Arboletes, se presentó el mayor incremento, con un aumento del 4,9% con

respecto al valor promedio anual. En la estación Cristo Rey los valores se incrementaron ligeramente con un 2,26% frente al promedio. Caso especial mostró la estación de Turipaná, presentando una disminución del 4,2% con respecto al promedio anual, equivalente a 1,9 puntos por debajo del promedio. A nivel general, las estaciones presentan un promedio de 83 % para la humedad relativa, con variaciones mínimas en cada estación. Los análisis para cada periodo muestran que los máximos porcentajes de humedad relativa alcanzados, son durante los periodos húmedos o aquellos donde se produce un aumento en la precipitación (mayo-octubre), concordando con lo reportado por Pérez & Gónima (2014).

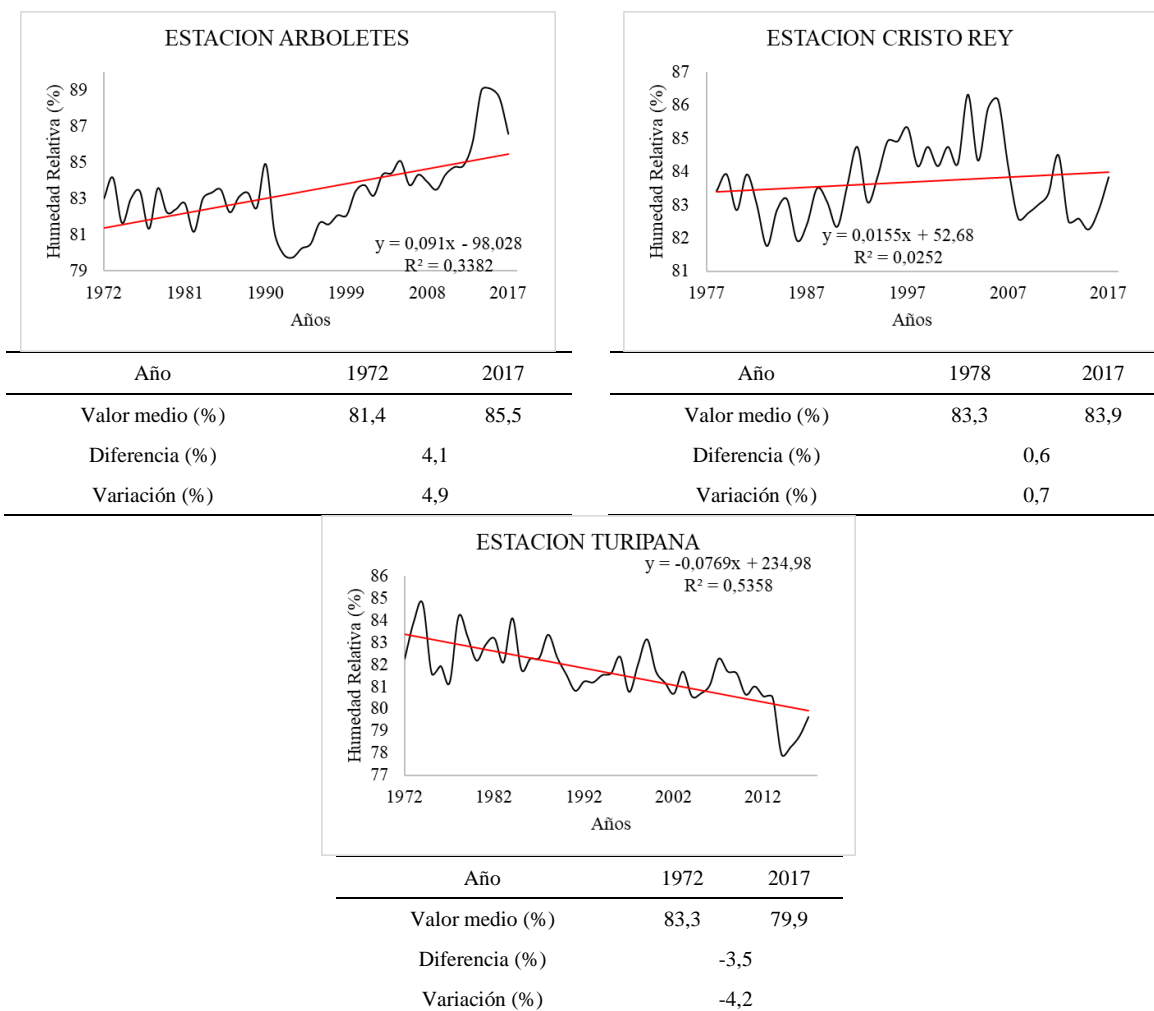


Figura 21. Variaciones de la humedad relativa para las estaciones de Arboletes, Cristo Rey y Turipaná para el periodo 1972-2017.

- **Comportamiento de la humedad relativa en la estación Arboletes.**

Para la estación Arboletes (Figura 22), el comportamiento de la humedad relativa promedio anual presento un incremento en tres periodos, teniendo el mayor valor en el cuarto (2000-2017), con un 5,7% teniendo una ganancia de 4,8 puntos, el decrecimiento se presentó en el segundo periodo (1984-1993), con el 3,8%, perdiendo 3,2 puntos. Tomando como base los años de El Niño y La Niña presentados en la figura 1, se observa que solo los años 1982, 1992 y 2009 (El Niño) y 1973 y 2000 (La Niña), coinciden con los años extremos de HR por debajo de la media para El Niño y por encima de la media para La Niña. No obstante, al no existir más coincidencias, es decir, al no ser generalizado, indicaría que la variabilidad y ocurrencia de valores extremos en la zona de estudio, no son explicadas en su totalidad por los fenómenos El Niño y La Niña (CVS, 2017).

Comparando el comportamiento de las coberturas (figura 8), con cada uno de los periodos de la figura 22, puede apreciarse que para la zona donde está ubicada esta estación, podría pensarse que existe una influencia de la modificación de las coberturas con el comportamiento de esta variable, que es inversa al esperado, donde la ampliación de la cobertura de pastos debería disminuir la humedad relativa en la región.



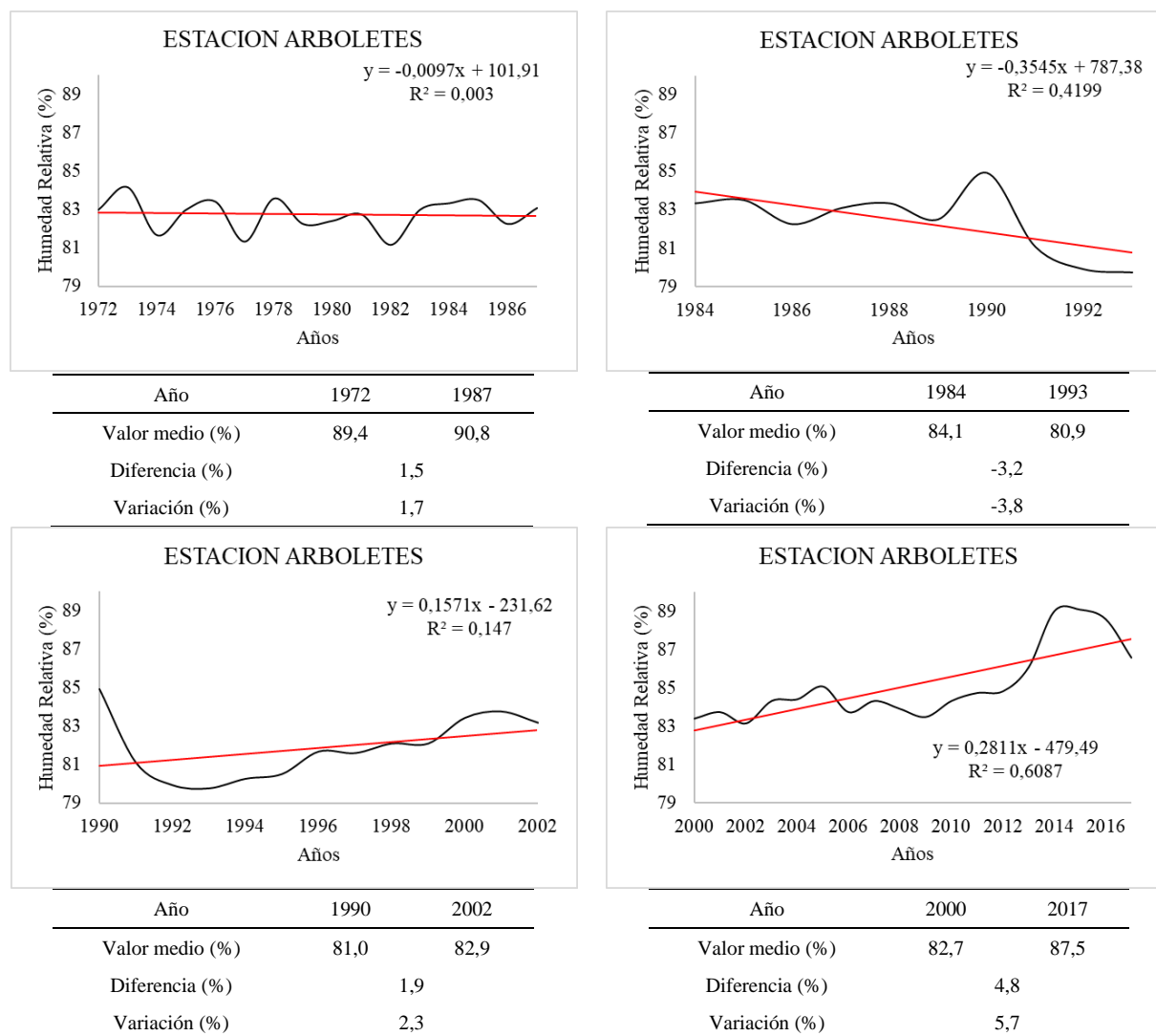


Figura 22. Comportamiento de la humedad relativa para la estación Arboletes.

- Comportamiento de la humedad relativa en la estación Cristo Rey.**

En la estación Cristo Rey (Figura 23), el comportamiento de la humedad relativa promedio anual presento un decrecimiento en los periodos uno y cuatro (1973-1987 y 2000-2017), de hasta el 3,1%, disminuyendo hasta en 2,6 puntos, en segundo y tercero (1984-1993 y 1990-2002), presentaron una ganancia de hasta el 1,7%, aumentando sus valores hasta en 1,4 puntos. Tomando como base los años de El Niño y La Niña presentados en la figura 1, se observa que solo los años 1983, 2002, 2009 y 2015 (El Niño) y 1985 y 1988 (La Niña), coinciden con los años extremos de

HR por debajo de la media para El Niño y por encima de la media para La Niña, no obstante, al no existir más coincidencias, es decir, al no ser generalizado, demostraría que la variabilidad no es explicada con el fenómeno ENSO.

Contrastando el comportamiento de las coberturas (figura 8), con cada uno de los periodos de la figura 23, puede apreciarse que para la zona donde está ubicada esta estación, existe una baja o nula influencia de la modificación de las coberturas con el comportamiento de esta variable.

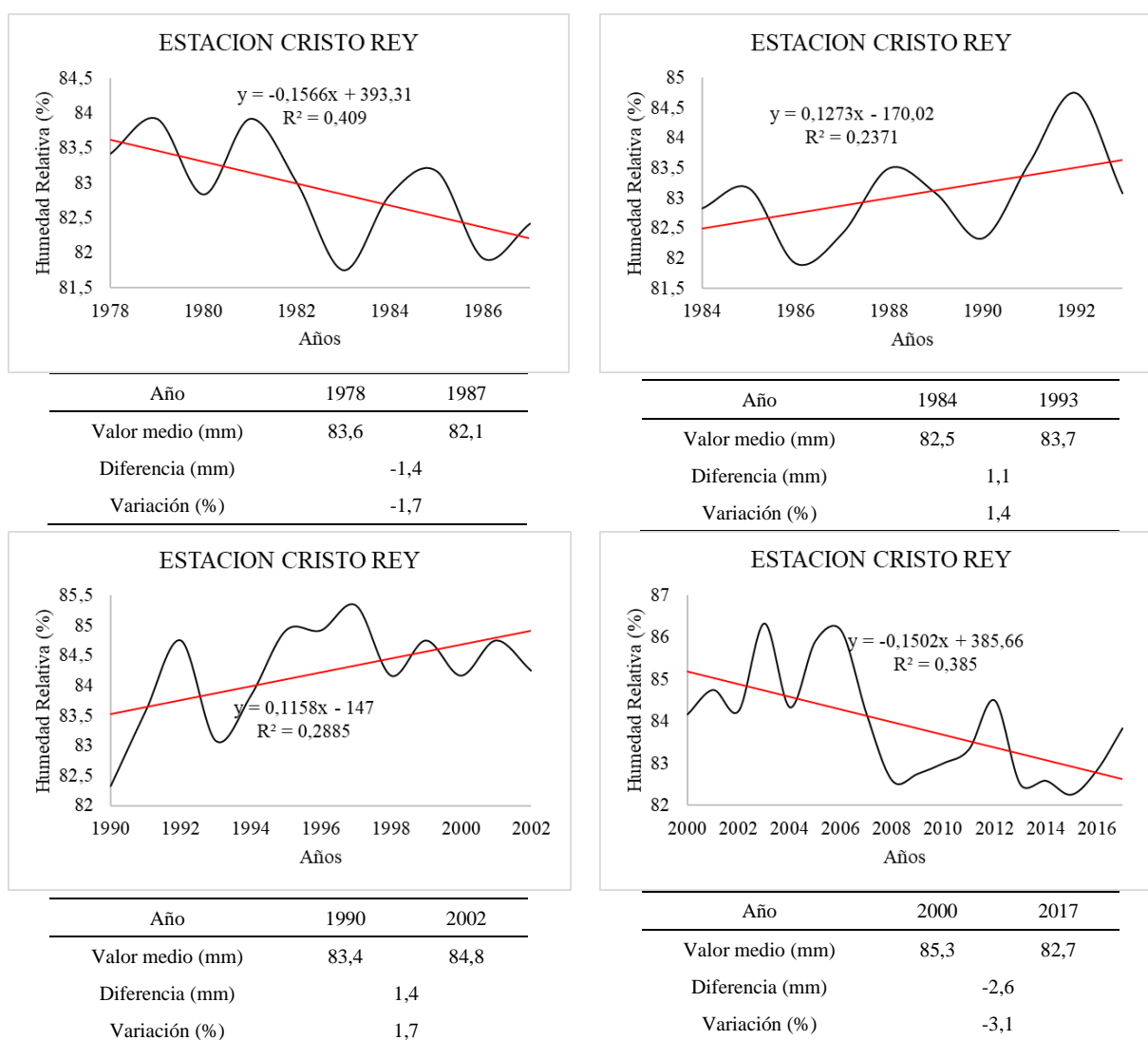
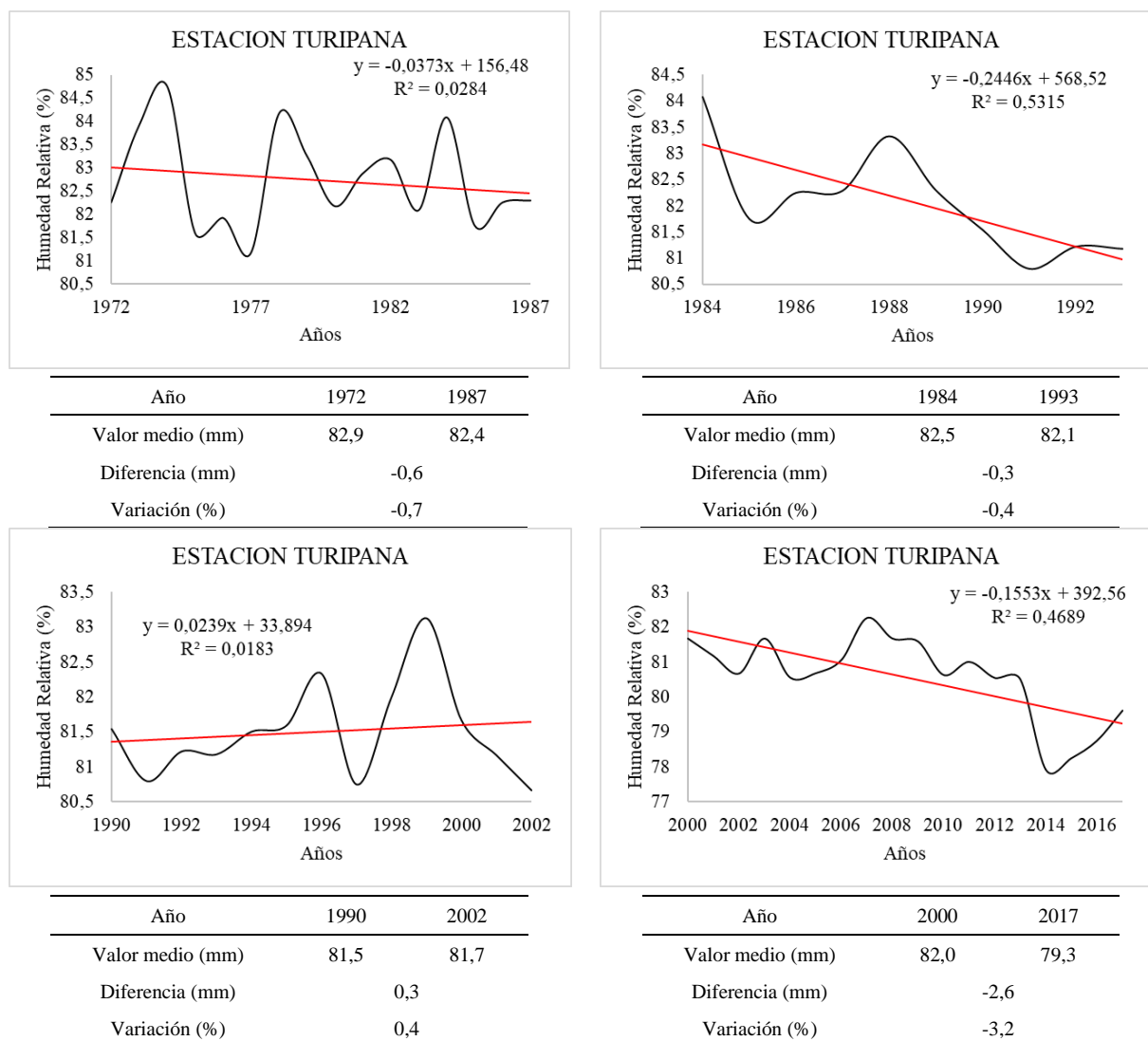


Figura 23. Comportamiento de la humedad relativa para la estación Cristo Rey.

- **Comportamiento de la humedad relativa en la estación Turipana.**

En la estación Turipana (Figura 24), el comportamiento de la humedad relativa promedio anual presento un decrecimiento en la mayoría de los periodos de hasta el 3,2%, perdiendo hasta en 2,6 puntos, solo en el tercer periodo (1990-2002), presentó una ganancia de 0,4% aumentando su valor en 0,3 puntos. Tomando como base los años de El Niño y La Niña presentados en la figura 1, se observa que solo los años 1972, 1991, 1997, 2002, 2004 y 2015 (El Niño) y 1973, 1988, 1999 y 2007 (La Niña), coinciden con los años extremos de HR por debajo de la media para El Niño y por encima de la media para La Niña, no obstante, al no existir más coincidencias, es decir, al no ser generalizado, demostraría que el fenómeno ENSO no tiene influencia con la humedad relativa.

Observando el comportamiento de las coberturas (figura 8), con cada uno de los periodos de la figura 24, puede apreciarse que el posible aumento de la humedad relativa presentada corresponda al incremento acelerado de la cobertura de pastos (que pasa de 129,0 km<sup>2</sup> a 635,4 km<sup>2</sup>), en donde para la región donde está ubicada esta estación, en el tercer periodo (1990-2002) por la desaceleración del incremento de la cobertura de pastos haya ayudado al aumento de la humedad relativa.



**Figura 24. Comportamiento de la humedad relativa para la estación Turipana.**

En general, la variación de la humedad relativa tuvo la misma tendencia en las estaciones de Turipana y Cristo Rey, solo la estación de Arboletes fue donde se presentaron las variaciones extremas con aumentos del 5,7% y disminuciones del 3,8 %.

#### **5.2.4. Comportamiento de la evapotranspiración potencial (ETP).**

- **Análisis general de la evapotranspiración potencial.**

En la figura 25, se presenta el comportamiento de la evapotranspiración potencial; observando - un claro incremento generalizado en el periodo de estudio analizado (1972-2017). Para la estación de Arboletes vario el 1,55% con respecto al promedio, aumentando en 8,19 mm, en la estación Cristo Rey se incrementó en 8,55 mm un aumento del 1,22% y para la estación de Turipaná se registró la mayor variación con un 7,22%, presentando un aumento de 48,1 mm, tal aumento, genera una alta presión hídrica para la vegetación proliferante y reducción de la oferta para las actividades agrícolas (Ojeda, Sifuentes, Iñiguez, & Montero, 2011). Teniendo en cuenta que casi el 70% del territorio de la cuenca se encuentra provisto de pastos, el requerimiento hídrico para su crecimiento se vería aumentado en un 5% anual según lo estudiado por Solano et. al. (2014). Los aumentos en la evapotranspiración se traducen en efectos negativos para una zona costanera debido a que incrementan el déficit de agua para cultivos y favorecen los problemas de abastecimiento, de acuerdo con lo reportado en el POMIC de la cuenca del río Canalete. (IDEAM, AGUSTIN CODDAZI, CORPOMAGDALENA 2008).

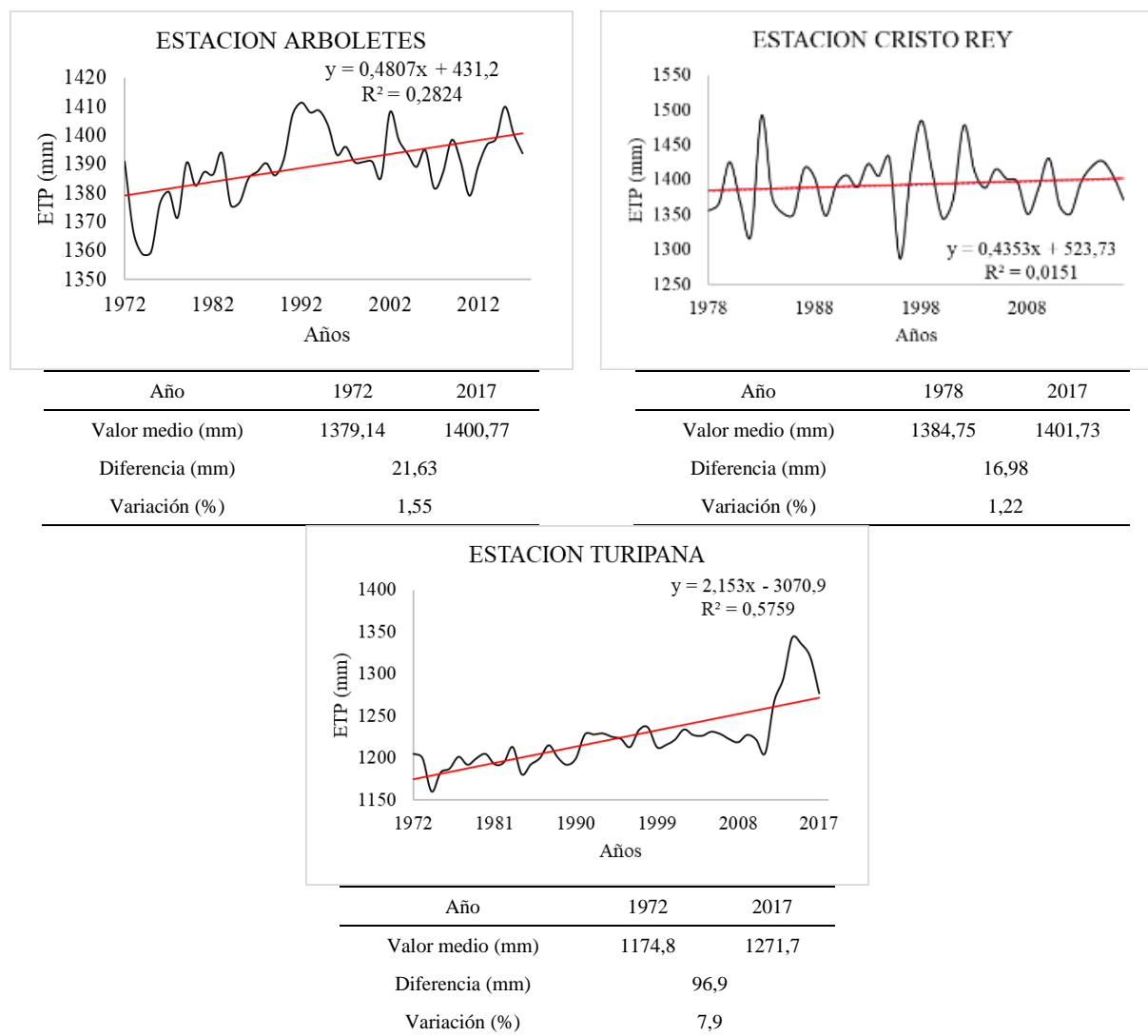


Figura 25. Variaciones en la ETP para las estaciones de Arboletes, Cristo Rey y Turipaná para el periodo 1972-2017.

- Comportamiento de evapotranspiración potencial en la estación Arboletes.**

Para la estación Arboletes (Figura 26), el comportamiento de la evapotranspiración potencial promedio anual presento un crecimiento en la mayoría de los periodos que llego hasta el 2,6%, aumentando hasta en 35,58 mm, solo en el tercero (1990-2002), presentó un decrecimiento del 0,89% perdiendo 12,40 mm.

En cuanto al fenómeno del ENSO, tomando como base los años de El Niño y La Niña presentados en la figura 1, se observa que solo los años 1972, 1983, 1991, 2002 y 2015 (El Niño) y 1974, 1998,

2007 y 2011 (La Niña), coinciden con los años extremos de ETP por encima de la media para El Niño y por debajo de la media para La Niña, no obstante al no existir más coincidencias, es decir, al no ser generalizado, indicaría que la variabilidad y ocurrencia de valores extremos en la zona de estudio, no son explicadas en su totalidad por los fenómenos El Niño y La Niña, tal como lo manifiesta el PORH (CVS, 2017).

Así mismo observando el comportamiento de las de coberturas (figura 8), con cada uno de los periodos de la figura 26, puede apreciarse que es posible que el aumento de la evapotranspiración presentada, corresponda a la disminución de cobertura de bosques y al incremento acelerado de la cobertura de pastos (que paso de  $129,0 \text{ km}^2$  a  $635,4 \text{ km}^2$ ), lo que allá afectado el comportamiento de esta variable climática en esta estación.

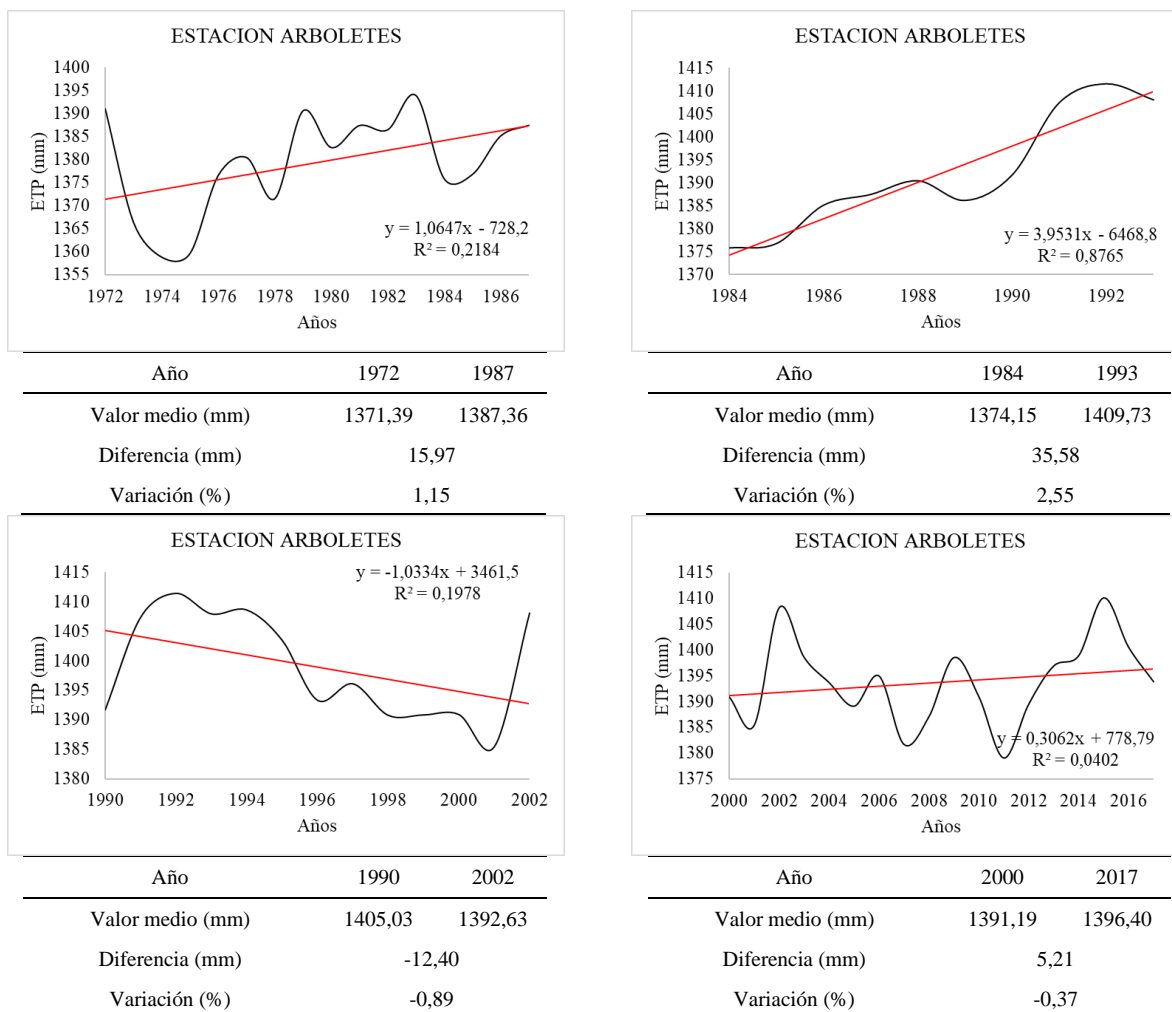


Figura 26. Comportamiento de la evapotranspiración potencial para la estación Arboletes.

- Comportamiento de evapotranspiración potencial en la estación Cristo Rey.**

En la estación Cristo Rey (Figura 27), el comportamiento de la evapotranspiración potencial promedio anual presento un crecimiento en la mayoría de los periodos que llego hasta el 3,3%, ganando hasta 46,37 mm, solo en el cuarto (2000-2017), presentó una pérdida del 0,07% disminuyendo su valor en 1,01 mm.

En cuanto al fenómeno del ENSO, tomando como base los años de El Niño y La Niña presentados en la figura 1, se observa que solo los años 1983, 1987, 1991, 2002 y 2015 (El Niño) y 1985, 2000, 2008 y 2011 (La Niña), coinciden con los años extremos de evapotranspiración por encima de la



media para El Niño y por debajo de la media para La Niña no obstante, al no existir más coincidencias, es decir, al no ser generalizado, demostraría que el fenómeno ENSO no tiene influencia con la ETP.

Contrastando el comportamiento de la modificación de coberturas (figura 8), con cada uno de los periodos de la figura 27, puede apreciarse, que el posible aumento de la evapotranspiración presentada corresponda al incremento acelerado de la cobertura de pastos.

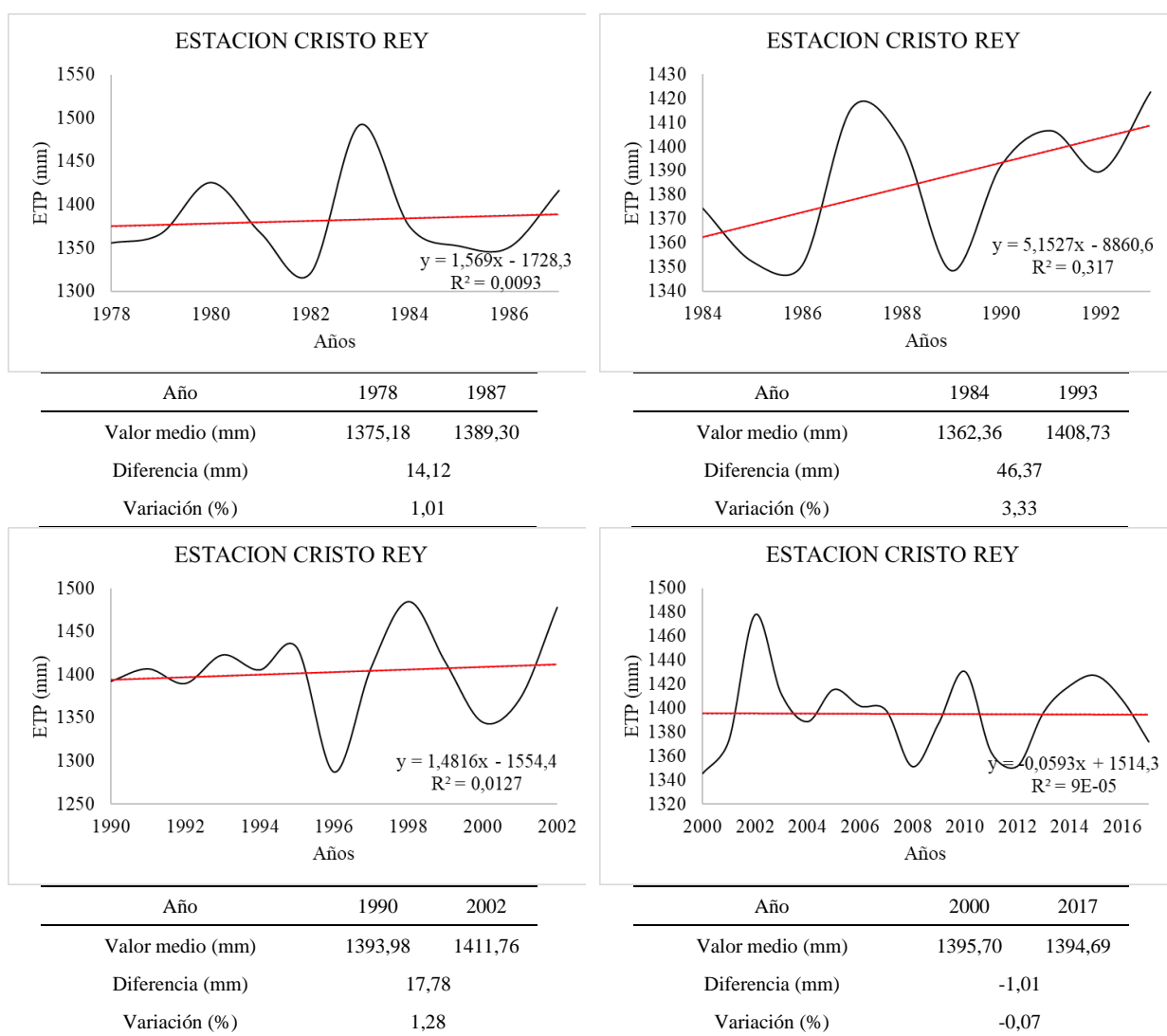


Figura 27. Comportamiento de la evapotranspiración potencial para la estación Cristo Rey.

- Comportamiento de evapotranspiración potencial en la estación Turipana.**

La estación de Turipana (Figura 28), el comportamiento de la evapotranspiración potencial promedio anual presento un crecimiento en todos los periodos que llego a un máximo del 8,4%, aumentando hasta en 103,1 mm, en el tercero (1990-2002), se presentó el menor crecimiento del 0,6% amentando solamente 7,3 mm.

En cuanto al fenómeno del ENSO, tomando como base los años de El Niño y La Niña presentados en la figura 1, se observa que solo los años 1972, 1983, 1987, 1991, 1992, 1997 y 2015 (El Niño) y 1974, 1999, 2000 y 2011 (La Niña), coinciden con los años extremos de evapotranspiración por encima de la media para El Niño y por debajo de la media para La Niña no obstante, al no existir más coincidencias, es decir, al no ser generalizado, demostraría que la variabilidad no es explicada con el fenómeno ENSO.

Contrastando el comportamiento de las coberturas (figura 8), con cada uno de los periodos de la figura 28, puede apreciarse que el posible aumento de la evapotranspiración presentada corresponda a la disminución de cobertura de bosques y al incremento acelerado de la cobertura de pastos.

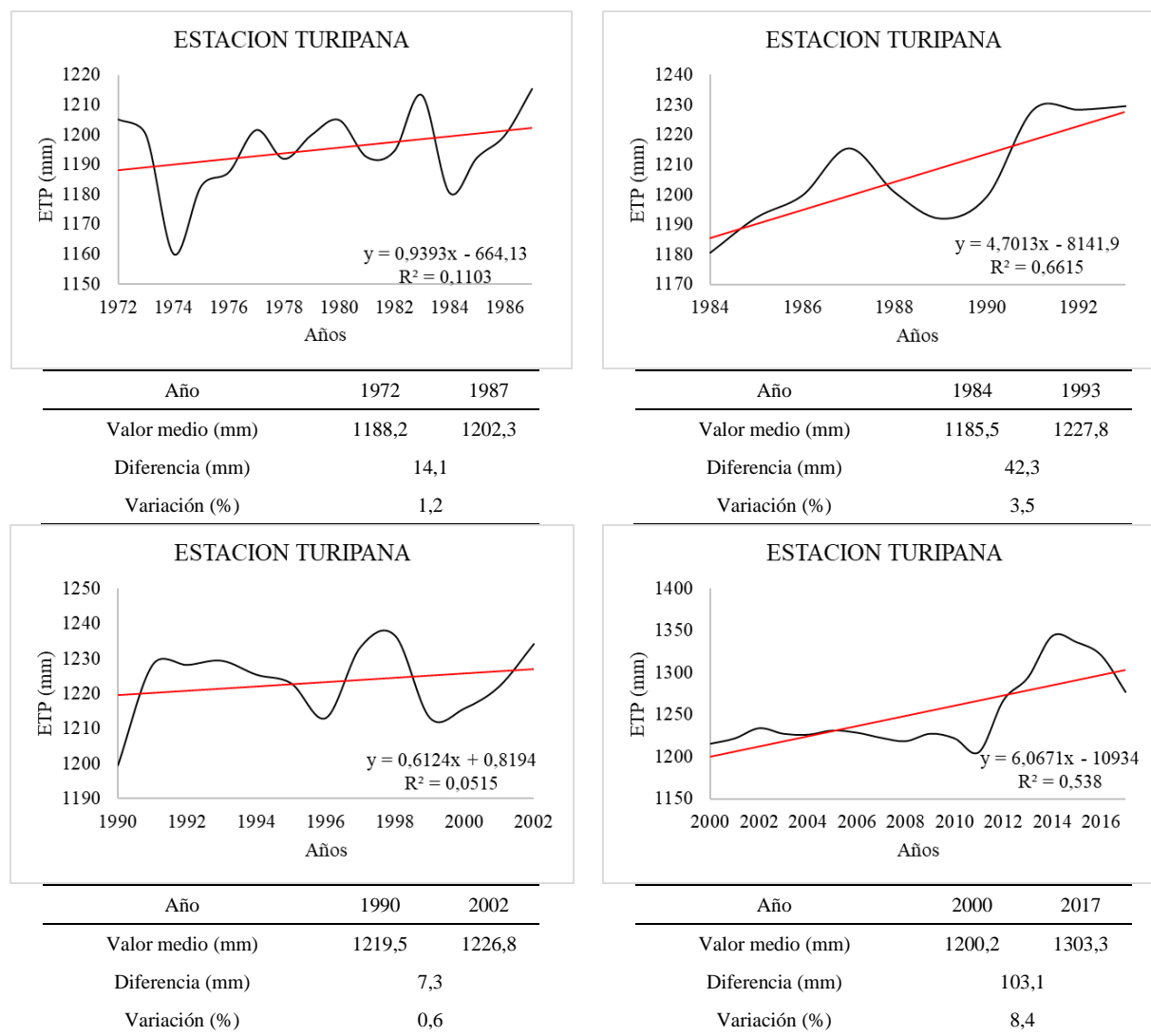


Figura 28. Comportamiento de la evapotranspiración potencial para la estación Turipana.

### 5.3.Relación entre los cambios de uso del suelo y la variación climática en la cuenca del río Canalete.

Los cambios de cobertura sobre la cuenca del río Canalete revelaron actualmente que gran parte del territorio está constituido por coberturas de pastos en un 69%, 20% en vegetación secundaria y 10% bosques (1% corresponde a nubes y sombras). Estos cambios pueden traer consecuencias sobre las características de la cuenca sobre sus procesos hidrológicos y físicos (Lopes et al., 2018; Yaeger et al., 2013).

Como ejemplo de lo anterior, para analizar la posible influencia de la pérdida boscosa con la variación en la precipitación en cada periodo analizado, se relacionaron las variables y se representaron en la figura 29. Las barras muestran el incremento o descenso en la precipitación (%) con respecto al promedio anual, mientras que la línea sólida manifiesta la variación de cobertura en términos de pérdida de la cobertura boscosa.

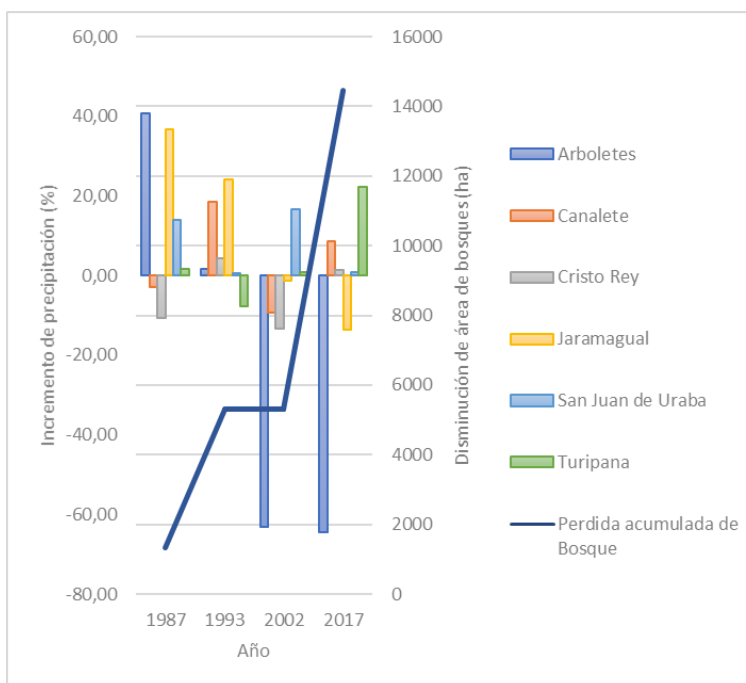


Figura 29. Comportamiento de la precipitación y la pérdida acumulada de bosques.

En la figura 29 se observa una disminución en las precipitaciones entre 1993-2003 luego de haberse dado un proceso de pérdida de cobertura boscosa notorio antes de 1993. Resultados similares obtenidos en el río “Yellow” en China, mostraron continuas disminuciones en la precipitación teniendo en cuenta las intervenciones antrópicas en la región (Tian et al., 2018). De manera similar Alzate, Rojas, Mosquera, & Ramón (2015) verificaron un incremento en la precipitación aproximado de 0-250 mm/década durante el periodo de 1981-2010 en dos cuencas del norte de Santander, coincidiendo con los aumentos en las estaciones evaluadas y estableciendo la posible influencia del fenómeno de La Niña durante el 2010.

Se aprecia en la figura 30 los resultados de la temperatura teniendo en cuenta la pérdida de bosques acumulada durante el periodo 1972-2017. Para esta variable se puede evidenciar a simple vista una relación entre la pérdida de cobertura boscosa y el aumento en la temperatura para cada periodo. La pérdida boscosa que se generó durante el periodo de 1984-1993 coincide con el máximo aumento en todas las estaciones. Es evidente que los bosques cumplen una función esencial dentro de la regulación en la temperatura ambiental, así como en la adsorción de gases que son considerados agentes potenciales dentro del marco de emisiones de gases de efecto invernadero (FAO, 2007). De igual forma, los aumentos en la temperatura no solo afecta el equilibrio de los ecosistemas, sino que trae consigo variaciones en los regímenes de precipitación, calidad de las aguas y productividad agrícola (J. L. Useros, 2013).

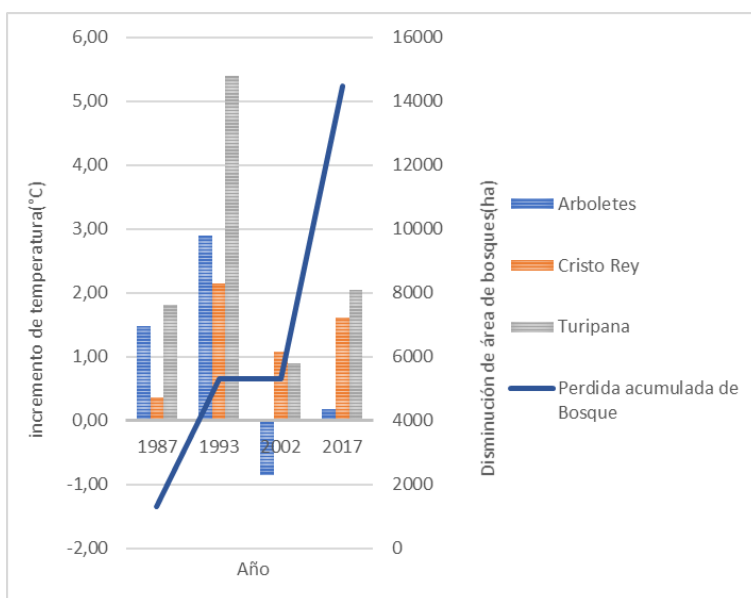


Figura 30. Comportamiento de la temperatura y la pérdida acumulada de bosques.

De acuerdo con la figura 31, al analizar gráficamente la variación de la HR con respecto a la disminución en la cobertura de bosques, aunque se esperaba que su comportamiento tuviera una relación directa (Gómez Sanz, 2004), se evidencia que para cada periodo la HR se comportó de manera muy variable, sin evidenciar alguna tendencia con respecto a la pérdida boscosa .

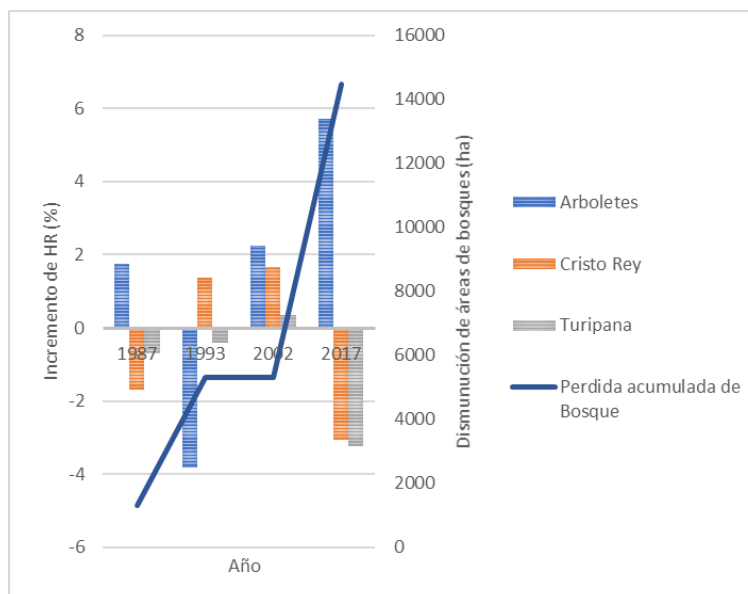


Figura 31. Comportamiento de la humedad relativa y la pérdida acumulada de bosques.

En la figura 32, se estableció la relación cualitativa que tiene el aumento en la evapotranspiración registrada para las estaciones, con la pérdida de cobertura boscosa, donde muestra una clara tendencia en el aumento de los valores de evapotranspiración a medida que incrementa la pérdida de bosques. La relación puede establecerse debido a que los bosques contribuyen a la reducción de la temperatura y en la regulación hídrica de una cuenca (Duval & Campo, 2017). Conclusiones similares han sido obtenidas en otras investigaciones (Ahiablame, Sinha, Paul, Ji, & Rajib, 2017; Lu et al., 2015) donde los cambios en las coberturas boscosas han influido en las variaciones climáticas e hidrológicas, especialmente el cambio de coberturas boscosas a coberturas de pastos ha provocado un ligero aumento en la evapotranspiración local de las zonas estudiadas. A partir de las figura 30 y 32, para el caso de la cuenca del río Canalete, puede establecerse que la evapotranspiración ha aumentado ligeramente a medida que se incrementa la temperatura promedio de la cuenca y decrece el área de bosques, trayendo consigo afectaciones sobre las condiciones hidrológicas (Cui, Liu, & Wei., 2012).

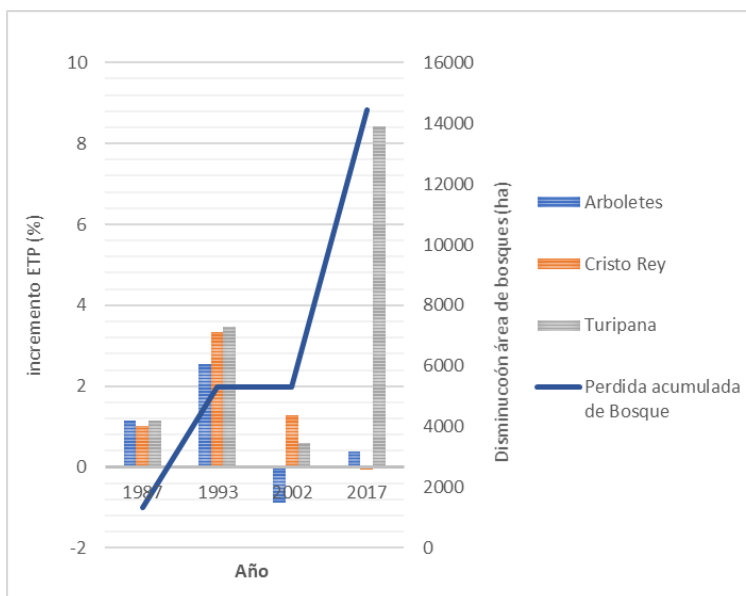


Figura 32. Comportamiento de la evapotranspiración potencial y la pérdida acumulada de bosques.

Para evaluar el efecto de los cambios de cobertura sobre las condiciones climáticas en el área de influencia de la cuenca del río Canalete mostradas en las figuras 29 a 32, se analizó estadísticamente la correlación existente entre las variables climáticas y los distintos tipos de coberturas utilizando los test de correlación  $r$  de Pearson y el coeficiente de determinación  $R^2$ , tomando los valores promedios anuales de cada estación para cada variable climática y el área correspondiente a cada año de captura de las imágenes satelitales de los años 1973, 1986, 1991, 2001, 2017. El cálculo del promedio ponderado, para el análisis solo de la cuenca fue calculado tomando las áreas definidas en la proyección de los polígonos de Thiessen.

### 5.3.1. Correlaciones para la cobertura tipo bosque.

Los valores del coeficiente de correlación  $r$  y el coeficiente de determinación  $R^2$ , utilizando los datos correspondientes al área de la cobertura de bosques con los promedios de las variables climáticas para los diferentes periodos seleccionados, presentaron los resultados que se muestran en la tabla 11.

En general, tal como se aprecia en la tabla 11 y la figura 33, de acuerdo al área de influencia de cada estación en la cuenca, en los cálculos del coeficiente de correlación y de determinación del promedio de los valores medios ponderados de las variables climáticas y los valores de coberturas de bosque, presentaron valores altos para temperatura media, humedad relativa y ETP (con  $r = -0,90$ ,  $R^2 = 0,81$ ;  $r = -0,86$ ,  $R^2 = 0,74$  y  $r = -0,78$ ,  $R^2 = 0,60$  respectivamente), es decir, para este caso las variables están tendiendo a una correlación  $r$  de buena a perfecta donde la temperatura media presenta el mayor valor y de acuerdo a los resultados del coeficiente de determinación  $R^2$ , la relación de las modificaciones de cobertura de bosques puede explicar en un 60% la modificación de la ETP y hasta en un 90 % el comportamiento de la temperatura media en la cuenca del río Canalete. Adicionalmente, dado que los valores de correlación  $r$  de estas variables son negativas, son inversamente proporcionales, es decir, que al aumentar el área de cobertura disminuye el valor de la temperatura media, humedad relativa y ETP.

Evaluando específicamente los coeficientes de correlación  $r$  y de determinación  $R^2$  en las estaciones, se observa que en los valores reportados en Arboletes, Cristo Rey y Turipaná valores de correlación media a alta con valores negativos en las variables climáticas de ETP y temperatura media con valores que tienden a una correlación que va de moderada a perfecta, (valores de correlación que oscilan entre  $-0,73$  a  $-0,97$  para temperatura media y entre  $-0,66$  a  $-0,98$  para ETP), es decir, que son inversamente proporcionales con las modificaciones de cobertura de bosque y dado los valores de  $R^2$ , la modificación de la cobertura de pastos puede explicar del 44% al 97 % el comportamiento de las variables.

Según la Declaración de la WMO (World Meteorological Organization, 2019), Las proyecciones del cambio climático indican un incremento de la temperatura ambiental, con variabilidad en el



espacio y en el tiempo - Impacto del cambio climático en el desarrollo y requerimientos hídricos de los cultivos.

Los cambios en la cobertura del suelo dan como resultado alteraciones en la humedad de la superficie (Mahmood et al., 2014), es decir, que la conversión de bosque a pasto tiende a disminuir la evapotranspiración, por lo tanto, calienta la atmósfera cercana a la superficie (Davin et al., 2007), amplificando las variaciones de temperatura diurnas y aumentando la temperatura media (Freche et al., 2009).

La cubierta forestal retiene, según su densidad, su naturaleza y la importancia de las precipitaciones —cantidad, intensidad, duración— una proporción variable de agua atmosférica. Por lo cual, el microclima del bosque es más húmedo que un sitio de suelo desnudo. Además, la velocidad del viento es menor en el interior del bosque que en el exterior debido a que la vegetación actúa como obstáculo o barrera a su ingreso (Chen et al., 1999).

Para Uribe de Camargo (1981) citado por (Duval & Campo, 2017) en el bosque la vegetación retiene el vapor de agua y produce que la humedad al interior del bosque sea superior a la registrada en su exterior, para el caso de Parque Luro en Argentina, esta relación coincide con la estación más cálida y con el otoño donde la humedad relativa conservada bajo el dosel fue mayor que en el área que no posee vegetación, no obstante, en los meses de invierno y primavera, la humedad en el bosque fue inferior que la de fuera de él, situación contraria a lo normal.

Es posible, tal como se estableció en el PORH de la cuenca del río Canalete (CVS, 2017), que los meses secos donde existen más suelos desprovistos, hay una mayor incidencia directa de radiación y con ello aumentos en los procesos de evaporación del agua contenida en el suelo.

Por lo anterior, los resultados obtenidos de correlación entre la dinámica de la cobertura de bosques con el comportamiento de la temperatura media son los esperados (por pérdidas de bosque y aumento de la temperatura) y en el caso de la ETP y HR, teniendo en cuenta que existe una menor cantidad de área de bosques, por la acción directa de la radiación solar, acompañada por la falta de árboles que sirva de barrera de protección que mengue el viento que afecta la humedad ambiente, se esté generado una mayor humedad relativa y por ende una mayor evapotranspiración.

Tabla 11. *Correlaciones promedio entre la cobertura de bosque y las medias de las variables climáticas.*

Variable	Estaciones- Estadístico	Arboletes	Cristo Rey	Turipaná	Jaramagal	San Juan de Urabá	Canalete	Promedio
Precipitación	r	0,63	0,52	-0,85	-0,05	-0,61	0,21	0,21
	R <sup>2</sup>	0,40	0,27	0,72	0,00	0,37	0,04	0,04
Temperatura media	r	-0,73	-0,97	-0,95	N.R.	N.R.	N.R.	-0,90
	R <sup>2</sup>	0,53	0,94	0,90	N.R.	N.R.	N.R.	0,81
Humedad Relativa	r	-0,84	0,03	1,00	N.R.	N.R.	N.R.	-0,86
	R <sup>2</sup>	0,70	0,00	0,99	N.R.	N.R.	N.R.	0,74
ETP	r	-0,77	-0,66	-0,98	N.R.	N.R.	N.R.	-0,78
	R <sup>2</sup>	0,59	0,44	0,97	N.R.	N.R.	N.R.	0,60

N. R: No Registra.

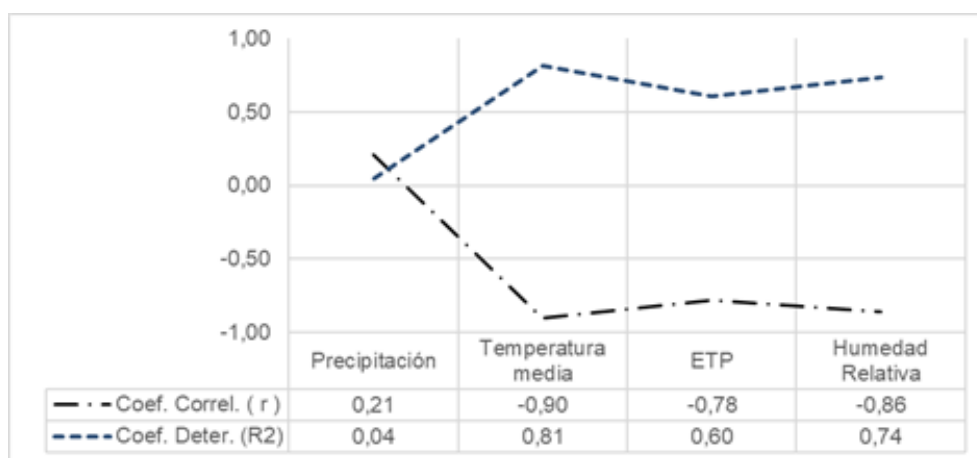


Figura 33. Correlación estadística promedio encontrada para la cobertura de bosques.

### 5.3.2. Correlaciones para la cobertura tipo pasto.

Los valores del coeficiente de correlación  $r$  y el coeficiente de determinación  $R^2$ , utilizando los datos correspondientes al área de la cobertura de pastos con los promedios de las variables climáticas para los diferentes periodos seleccionados, presentaron el comportamiento que se muestra en la tabla 12.

Para esta cobertura en general, de acuerdo al área de influencia de cada estación ( tabla 12, figura 34), los coeficientes de correlación y de determinación del promedio de los valores medios ponderados de las variables climáticas y los valores de coberturas de pastos, presentaron altas correlaciones para temperatura media, ETP y humedad relativa (con  $r = 0,96$ ,  $R^2 = 0,93$ ;  $r = 0,88$ ,  $R^2 = 0,78$  y ;  $r = 0,81$ ,  $R^2 = 0,66$  respectivamente), es decir, para este caso las variables están tendiendo a una correlación  $r$  buena a perfecta. De acuerdo con los resultados del coeficiente de determinación  $R^2$ , la relación de las modificaciones de cobertura de pastos explica en un 66% la modificación de la humedad relativa y hasta en un 93 % el comportamiento de la temperatura media en la cuenca del río Canalete. Los valores de correlación  $r$  son positivos indican que son directamente proporcionales, es decir, que al aumentar el área de cobertura de pastos aumenta el valor de estas variables.

Mas específicamente, los resultados para la estación de Arboletes, Cristo Rey y Turipaná presentan valores de correlación que tienden de buena a alta con valores positivos en las variables climáticas de temperatura media y ETP, tienden a una correlación que va de buena a perfecta, (valores de correlación que oscilan entre 0,82 a 0,99 para temperatura media y entre 0,80 a 0,95 para ETP), es decir, que son directamente proporcionales con las modificaciones de cobertura de pastos y dado los valores de  $R^2$ , la modificación de la cobertura de pastos puede explicar del 64% al 98 % el comportamiento de las variables climáticas.

Tabla 12. *Correlaciones promedio entre la cobertura de pastos y las medias de las variables climáticas.*

Variable	Estaciones- Estadístico	Arboletes	Cristo Rey	Turipaná	Jaramagal	San Juan de Urabá	Canalete	Promedio
Precipitación	r	-0,54	-0,39	0,88	0,24	0,74	-0,10	-0,06
	R <sup>2</sup>	0,29	0,15	0,78	0,06	0,54	0,01	0,00
Temperatura media	r	0,82	0,98	0,99	N.R.	N.R.	N.R.	0,96
	R <sup>2</sup>	0,67	0,97	0,98	N.R.	N.R.	N.R.	0,93
Humedad Relativa	r	0,76	0,13	-0,97	N.R.	N.R.	N.R.	0,81
	R <sup>2</sup>	0,58	0,02	0,95	N.R.	N.R.	N.R.	0,66
ETP	r	0,85	0,80	0,95	N.R.	N.R.	N.R.	0,88
	R <sup>2</sup>	0,72	0,64	0,89	N.R.	N.R.	N.R.	0,78

N. R.: No registra.

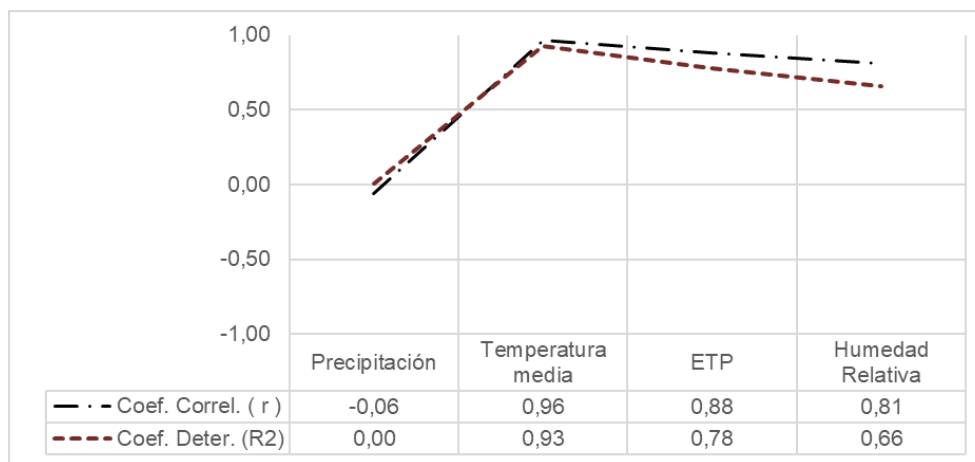


Figura 34. Correlación estadística promedio encontrada para la cobertura de pastos.

Lo anterior confirma la relación existente entre los cambios climáticos asociados a la modificación de coberturas en la cuenca del río Canalete en función de las variables climáticas analizadas de temperatura media y ETP, lo anterior dado que a medida que disminuyen el número de individuos de bosque por cultivos de pastos, merma la capacidad de retención y almacenamiento al igual que con la cobertura boscosa, favoreciendo que la radiación incida directamente sobre el suelo y favorezca la evaporación del agua lo que al final puede representar mayores episodios de precipitación (EFE, 2015) y es acorde a lo reportado por Gónima & Vilorio (2011) y de forma análoga a la relación inversa obtenida para la cobertura boscosa.

Teniendo en cuenta lo anterior, la cobertura de pastos ha favorecido el incremento de la temperatura media y la evapotranspiración potencial de la cuenca, lo que trae consigo mayores

velocidades en los procesos de evaporación del agua, aumentando la demanda existente en la cuenca (Lopes et al., 2018).

### **5.3.3. Correlaciones para la cobertura de vegetación secundaria.**

En cuanto a la cobertura de vegetación secundaria en donde se presenta vegetación de tipo arbustiva, con especies de tamaño medio que son características de zonas subhúmedas (Jiménez et al., 2008), en general, de acuerdo al área de influencia de cada estación en la cuenca tal como se puede apreciar en la tabla 13 y la figura 35, los coeficientes de correlación y de determinación del promedio de los valores medios ponderados de las variables climáticas y los valores de coberturas de vegetación secundaria, presentaron valores negativos de media a buen correlación para la temperatura media, ETP y humedad relativa (con  $r = -0,70$ ,  $R^2 = 0,49$ ;  $r = -0,63$ ,  $R^2 = 0,40$  y  $r = -0,61$ ,  $R^2 = 0,37$ ), es decir, para este caso que la variable está tendiendo a una correlación  $r$  moderada a buena y de acuerdo a los resultados del coeficiente de determinación  $R^2$ , la relación de las modificaciones de cobertura de vegetación secundaria puede explicar en un 37% la modificación de la humedad relativa y hasta en un 49 % el comportamiento de la temperatura media en la cuenca del río Canalete y son inversamente proporcional a la modificación de la cobertura de vegetación secundaria, es decir, que al aumentar el área de cobertura de vegetación secundaria se disminuye el valor de estas variables.

Puede decirse que las variables que se han modificado bajo las variaciones en los tipos de cobertura han sido principalmente la temperatura media y ETP, lo cual implica de acuerdo con el análisis realizado que la pérdida acumulada de cobertura boscosa y vegetación secundaria por la ampliación de la cobertura de pastos (a causa del aumento de la frontera agropecuaria), han favorecido la incidencia de mayor radiación solar sobre el territorio, aumentando la temperatura promedio ambiental y la evapotranspiración potencial local.

Tabla 13. *Correlaciones promedio entre la cobertura de vegetación secundaria y las medias de las variables climáticas.*

Variable	Estaciones- Estadístico	Arboletes	Cristo Rey	Turipaná	Jaramagal	San Juan de Urabá	Canalete	Promedio
Precipitación	r	0,61	0,29	-0,36	-0,26	-0,57	0,01	0,01
	R <sup>2</sup>	0,37	0,08	0,13	0,07	0,33	0,00	0,00
Temperatura media	r	-0,53	-0,79	-0,81	N.R.	N.R.	N.R.	-0,70
	R <sup>2</sup>	0,28	0,62	0,65	N.R.	N.R.	N.R.	0,49
Humedad Relativa	r	-0,46	-0,67	0,64	N.R.	N.R.	N.R.	-0,61
	R <sup>2</sup>	0,21	0,45	0,41	N.R.	N.R.	N.R.	0,37
ETP	r	-0,54	-0,66	-0,61	N.R.	N.R.	N.R.	-0,63
	R <sup>2</sup>	0,29	0,44	0,38	N.R.	N.R.	N.R.	0,40

N. R.: No registra.

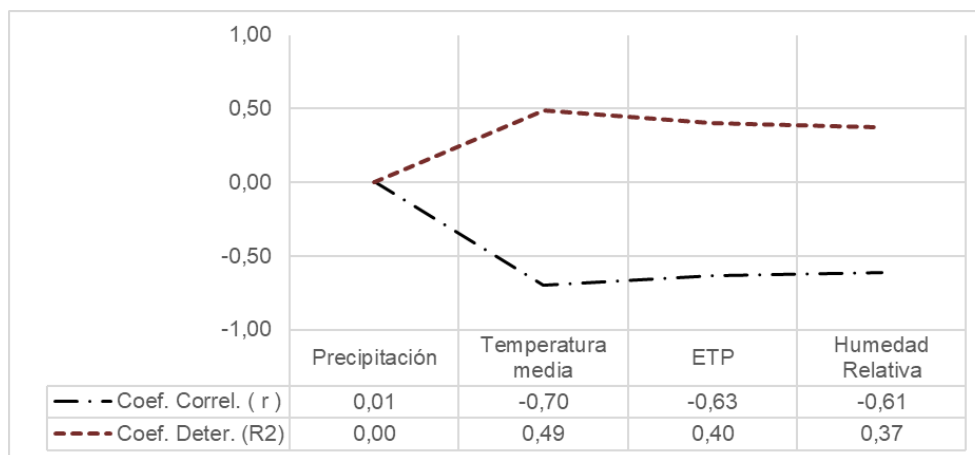


Figura 35. Correlación estadística promedio encontrada para la cobertura de vegetación secundaria.

## 6. CONCLUSIONES

El comportamiento de la dinámica del cambio del uso del suelo en la cuenca del río Canalete en el periodo analizado de 1972 a 2017, evidenció la alta influencia antrópica en la región donde predominó el incremento constante de la cobertura de pastos como frontera agropecuaria, pasando de 129 km<sup>2</sup> a 635 km<sup>2</sup>, desplazando la cobertura de bosques y de vegetación secundaria.

El cambio climático local, en el periodo analizado, fueron evidentes en las variables de temperatura media, humedad relativa y la evapotranspiración potencial, con el comportamiento constante de aumento en sus valores promedios anuales, en donde se presentaron incrementos de hasta 1,49°C en temperatura y de hasta 96,9 mm en la evapotranspiración potencial.

Los resultados de la correlación demuestran que existe una relación directa entre la dinámica de la cobertura vegetal y el comportamiento de variables climáticas en el periodo analizado, donde la alta influencia reflejada en ajustes perfectos de los coeficientes de correlación, corroboran que la disminución en la cobertura de bosques y el aumento de la cobertura de pastos puede explicar el comportamiento de la temperatura media, la evapotranspiración potencial y la humedad relativa. Situación que, para el caso del comportamiento de la temperatura media en la cuenca del río Canalete, de acuerdo con los valores reflejados en el coeficiente de determinación son explicados en un 81% con la modificación de cobertura de bosques y en un 93% con la modificación de la cobertura de pastos.

Los resultados permitieron identificar las modificaciones existentes en el uso del suelo, el calentamiento climático local y la correlación existente entre estos, información que puede

utilizarse como base para futuras investigaciones en donde se detallen más a profundidad los efectos sobre los suelos y la disponibilidad del recurso hídrico y adicionalmente puede llegarse al punto de poder predecir con la ayuda de modelaciones, el grado de incidencia que generen los diferentes escenarios en la proyección de modificación de usos del suelo en la cuenca, lo cual puede constituirse como información clave para la formulación de políticas orientadas al ordenamiento del territorio.

Aunque han aumentado las publicaciones sobre el cambio climático global (IPCC, 2014a), donde se evidencian cambios en variables climática como el incremento de la temperatura ambiente a nivel global, por factores como ciclos solares de largos plazos o los cambios de la composición de la atmosfera (Rodríguez, Pabón, Bernal, & Martínez, 2010), y sus efectos en el planeta, los resultados obtenidos, tal como lo muestra la presente investigación, están referidos en los cálculos estadísticos de las correlaciones existentes entre la dinámica de la modificación de las coberturas de bosques, vegetación secundaria y pastos en la cuenca del río Canalete y el comportamiento de las variables climáticas de precipitación, humedad relativa, evapotranspiración y temperatura media, analizado en cuatro periodos distribuidos entre los años 1973 a 2017, resultados que muestran la incidencia de las acciones antrópicas en el clima local y que pueden ser aporte en el cambio climático global.



## **7. RECOMENDACIONES.**

En la generación de políticas de ordenamiento territorial, tanto local como regional (municipio, departamento, CAR entre otros), se deben incorporar de manera conjunta con las empresas de carácter público y privado programas de reforestación y prácticas agrícolas sostenibles para controlar o disminuir el aumento en la temperatura media y la ETP local, como estrategia para reducir las presiones al que está sometido el recurso hídrico.

Los proyectos de carácter agrícola que se lleven a cabo sobre el territorio deben incorporar un plan de prevención y mitigación de riesgo contra sequias y programas para recuperación del espacio forestal en la cuenca dando énfasis en la zona suroeste, la cual ha sido designada con una aptitud de protección según el POMIC de Canalete.

El presente estudio puede ser utilizado por la comunidad científica y la academia como base para futuras investigaciones en donde se aborden otros aspectos que amplíen información sobre efectos en los suelos, la incidencia con más variables climáticas, la correlación que puedan tener entre variables climáticas, la influencia que pueda tener el comportamiento de las variables climáticas por el cambio climático global y la disponibilidad del recurso hídrico, como también puede llegarse al punto de poder predecir con la ayuda de modelación, el grado de incidencia que generen los diferentes escenarios en la proyección de modificación de usos del suelo en la cuenca.

Tanto los resultados como los que se deriven de las investigaciones futuras, puede constituirse para los entes territoriales y entidades ambientales (alcaldía del municipio de Canalete, alcaldía de Puerto Escondido, gobernación de Córdoba y CVS), como información clave para la formulación

de políticas orientadas al ordenamiento del territorio, en busca de directrices para definir acciones que mitiguen los efectos y que impacten positivamente la sostenibilidad del recurso para el desarrollo de los productores rurales y urbanos que desempeñen diferentes labores productivas en la zona.

Además, investigaciones asociadas a la temática deberían incorporar el componente económico y social donde los gremios puedan conocer la dinámica propia de los usuarios de la cuenca y determinar como el recurso hídrico afecta de forma más detallada la región.

## REFERENCIAS

- Ahiablame, L., Sinha, T., Paul, M., Ji, J. H., & Rajib, A. (2017). Streamflow response to potential land use and climate changes in the James River watershed, Upper Midwest United States. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 14(November), 150–166. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.11.004>
- Akkermans, T., Thiery, W., & Van Lipzig, N. P. M. (2014). The regional climate impact of a realistic future deforestation scenario in the congo basin. *Journal of Climate*, 27(7), 2714–2734. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-13-00361.1>
- Altieri, M., & Nicholls, C. (2017). Estrategias agroecológicas para enfrentar el cambio climático. *LEISA Revista de Agroecología*, 33(2), 5–8.
- Alvarado-barrientos, M. S., Holwerda, F., & Postgraduados, C. De. (2010). Evaluando el impacto del cambio de cobertura vegetal sobre el clima regional de una zona tropical de montaña, 187646(October), 187646. <https://doi.org/10.13140/2.1.4239.3600>
- Alzate, D., Rojas, E., Mosquera, J., & Ramón, J. (2015). Cambio Climático Y Variabilidad Climática Para El Periodo 1981-2010 En Las Cuencas De Los Ríos Zulia Y Pamplonita, Norte De Santander – Colombia. *Luna Azul*, (40), 127–153. <https://doi.org/10.17151/luaz.2015.40.10>
- Arboit, M. E., & Maglione, D. S. (2018). Análisis Multitemporal Y Multiespacial Del Índice De Vegetación De Diferencia Normalizada (Ndvi) Y Del Índice De Vegetación Ajustado Al Suelo (Savi) En Centros Urbanos Forestados Y Oasis Irrigados, Con Climas Secos, 109, 13–60.
- Ariza, A. (2013). Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 LDCM (Landsat Data Continuity Mission). *Centro de Investigación y Desarrollo En Información Geográfica Del IGAC -CIAF*, 46.
- Arrieta Torres, P., Trujillo Padilla, J., & Arrieta Almario, Á. (2018). Análisis de aspectos ambientales generados por las prácticas ganaderas en el área de influencia de la ciénaga de Betancí en el municipio de Montería ( Colombia ). *Revista Espacios*, 39(44), 24.
- Baeza, E. (2017). Cambio climático y efectos actuales y potenciales sobre los recursos Eduardo Baeza Gómez.
- Balvanera, P. (2012). Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. *Ecosistemas*, 21(1–2), 136–147. <https://doi.org/10.7818/re.2014.21-1-2.00>
- Barboza Lizano, Ó. (2013). Calentamiento global: “La máxima expresión de la civilización petrofósil.” *Revista Del CESLA*, 16, 35–68.
- Benavides Balleteros, H., Rocha Enciso, C., & IDEAM, I. de hidrologia meteorologia y estudios ambientales. (2012). Indicadores que manifiestan cambios en el sistema climatico de

- Colombia. *IDEAM-METEO/001-2012 Nota Técnica Del IDEAM*, 1–26.
- Bicudo da Silva, R. F., Batistella, M., Moran, E. F., & Lu, D. (2017). Land Changes Fostering Atlantic Forest Transition in Brazil: Evidence from the Paraíba Valley. *Professional Geographer*, 69(1), 80–93. <https://doi.org/10.1080/00330124.2016.1178151>
- Blahušiaková, A., & Matoušková, M. (2015). Rainfall and runoff regime trends in mountain catchments ( Case study area : the upper Hron River basin , Slovakia ), 183–192. <https://doi.org/10.1515/johh-2015-0030>
- Bocco, G., Mendoza, M., & Maser, O. R. (2001). La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas*, 44, 18–38. <https://doi.org/10.14350/rig.59133>
- Botero, E. U. (2015). *El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad en América Latina*.
- Canalete, M. de. (2015). *Plan de Ordenamiento Territorial 2001-2015*.
- Carvajal, A. F., & Pabón, J. D. (2016). Transformación De La Superficie Terrestre Por La Actividad Humana Y Su Relación Con El Cambio Climático. *Sociedade & Natureza*, 28(2), 185–198. <https://doi.org/10.1590/1982-451320160201>
- Carvajal, Y. (2011). Efectos de la Variabilidad Climática (vc) y el Cambio Climático (cc) en los Recursos Hídricos de Colombia. *Entre Ciencia e Ingeniería*.
- Chen, J., Saunders, S. C., Crow, T. R., Naiman, R. J., Brosofske, K. D., Mroz, G. D., ... Franklin, J. F. (1999). Microclimate in Forest Ecosystem the effects of different management regimes. *BioScience*, 49(4), 288–297.
- Chuvieco, E. (1995). J., . 1.
- Condori, I. J., Loza, M. G., Mamani, F., & Solíz, H. (2018). Análisis multitemporal de la cobertura boscosa empleando la metodología de teledetección espacial y SIG en la sub-cuenca del río Coroico - provincia Caranavi en los años 1989 – 2014. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 9, 25–44.
- Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y San Jorge, C. (2009). Plan de Acción 2007 + 2011. Cvs, 1, 148dp.
- Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y San Jorge, C., & UPB, U. P. B.-. (2008). PLAN DE ORDENAMIENTO Y MANEJO INTEGRAL DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO CANALETE POMIC - RÍO CANALETE DOCUMENTO SÍNTESIS DIAGNÓSTICA, 1(1), 51.
- Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y San Jorge. Plan de Gestión Ambiental Regional - PGAR Actualización 2008 - 2019, 1 CVS § (2008).
- Corporación Autónoma y Regional de Nariño, C. (2017). Plan de Gestión Ambiental Regional del Departamento de Nariño, 342.
- Correa Valencia, J. A. (2018). ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE COBERTURAS Y USOS DEL SUELO: TRANSFORMACIONES AMBIENTALES A TRAVÉS DEL TIEMPO EN ARMENIA, QUINDÍO, 1, 19.

- Corredor, L., Cárdenas, E. A., & Ordóñez, J. C. (2011). Aplicación de la metodología corine land cover en la determinación de los cambios de cobertura en el parque natural los flamencos application of the corine land cover methodology to determine the environ changes in the natural park los flamencos.
- Cui, X., Liu, S., & Wei, X. (2012). Impacts of forest changes on hydrology: A case study of large watersheds in the upper reaches of Minjiang River watershed in China. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(11), 4279–4290. <https://doi.org/10.5194/hess-16-4279-2012>
- CVS. (2017). Formulación del Plan de ordenamiento del recurso hídrico - PORH- e implementar acciones de manejo para la cuenca del río Canalete, en el departamento de Córdoba.
- DANE, CVS, & SISAC. (2006). NACIONAL DE ESTADÍSTICA LOS VALLES DEL SINU Y SAN JORGE - CVS SÍNTESIS CENSO DE PLANTACIONES, (26), 1–8.
- Davin, E. L., de Noblet-Ducoudré, N., & Friedlingstein, P. (2007). Impact of land cover change on surface climate: Relevance of the radiative forcing concept. *Geophysical Research Letters*, 34(13), 1–5. <https://doi.org/10.1029/2007GL029678>
- Departamento de Sociología de la Universidad Complutense de Madrid. (2013). Análisis de regresión lineal : El procedimiento Regresión lineal. *Guía Para El Análisis de Datos*, 67.
- Dr. Sergio Mora Castro, MSc. Javier Saborío, MSc. María del Mar Saborío, & MSc. Juan Pablo González. (2008). La variabilidad climática y el calentamiento global antropogénico (CGA) en el contexto de reordenamiento territorial y los planes reguladores en Costa Rica, 1–23.
- Duval, V. S., & Campo, A. M. (2017). Variaciones microclimáticas en el interior y exterior del bosque de caldén (*Prosopis caldenia*), Argentina. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 26(1), 37–49. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v26n1.42372>
- EFE. (2015). El cambio climático ha multiplicado los episodios de fuertes precipitaciones.
- Environmental Systems Research Institute – ESRI. (2006). ArcMap Tutorial, 5221112212(52), 58. <https://doi.org/10.1007/s00779-014-0815-y>
- Flórez-Yepes, G. Y., Rincon-Santamaría, A., Cardona, P. S., & Alzate-Alvarez, A. M. (2017). Multitemporal analysis of the vegetation cover in the area of influence of the mines located in the high part of Maltería in Manizales, Colombia. *DYNA (Colombia)*, 84(201), 95–101. <https://doi.org/10.15446/dyna.v84n201.55759>
- Freche, P., Janssen, M., & Merkt, R. (2009). D T D T D T, 96(2), 269–278.
- Galván Fernández, A., & Guadarrama Brito, M. E. (2018). Cambio de uso del suelo: los procesos de urbanización en el valle de México y su relación con el cambio climático. *Dinámicas Urbanas y Perspectivas Regionales de Los Estudios Culturales y de Género*, 53–71.
- Germán Naranjo, L., Guerrero, J., Guevara, O., Freddy Suárez, C., & Prüssmann, J. (2019). Biodiversity conservation in a changing climate: ten years of experiences from WWF Colombia. *Biodiversidad En La Práctica*, 4(1), 111–140.
- Gómez Blanco, Juan Antonio Cadena, M. C. (2018). VALIDACIÓN DE LAS FÓRMULAS DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA (ET<sub>o</sub>) PARA COLOMBIA, 1–47.

- Gomez Hernandez, A. (2012). *Determinación de los cambios del patrón de lluevías debido a la presencia de embalses. Estudio del sistema Grijalva.*
- Gómez Sanz, V. (2004). Cubiertas forestales y respuesta microclimática. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 13(S1), 84. <https://doi.org/10.5424/srf/200413s1-00857>
- Gónima, L., & Pérez Vilorio, M. (2014). Analisis de la variabilidad Climática de la Temperatura del Aire y de la ETP para una zona del Caribe Colombiano. *Metereologia Colombiana*, 183–195.
- Gónima, L., & Vilorio, M. P. (2011). Análisis de la variabilidad climática de la temperatura del arie y de la ETP para una zona del Caribe Colombiano., 183–195.
- Hahn, C., Prasuhn, V., Stamm, C., Lazzarotto, P., Evangelou, M. W. H., & Schulín, R. (2013). Prediction of dissolved reactive phosphorus losses from small agricultural catchments : calibration and validation of a parsimonious model, 3679–3693. <https://doi.org/10.5194/hess-17-3679-2013>
- IDEAM. (2015). *Estudio Nacional del Agua 2014. Estudio Nacional del Agua 2014.*
- Instituto de Hidrología, M. y E. A. (2019). Metodología CORINE LAND COVER.
- Instituto de Hidrología, M. y E. A. I. (2018). *METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA VARIABLES METEOROLÓGICAS.*
- Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. (2010). *Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra, Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia, Escala 1:100.000.* <https://doi.org/10.3969/J.ISSN.1672-8270.2018.04.005>
- Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. (2014). *Estudio Nacional del Agua 2014. IDEAM* (Vol. 1). <https://doi.org/10.1177/1368430213490211>
- Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. (2018). Reporte de Avance del estudio Nacional del Agua 2018, 1, 56.
- IPCC. (2014a). *Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Resúmenes, preguntas frecuentes y recuadros multicapítulos. Cambio climático 2014.* Retrieved from [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/WGIIAR5-IntegrationBrochure\\_es.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/WGIIAR5-IntegrationBrochure_es.pdf)
- IPCC. (2014b). Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad – Resumen para responsables de políticas. *Contribución Del Grupo de Trabajo II Al Quinto Informe de Evaluación Del Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre El Cambio Climático*, 34. <https://doi.org/10.1186/1749-7922-7-4>
- Jimenez Ballesteros, L. M., & Sánchez Puin, G. A. (2017). Análisis Multitemporal de la Cobertura de la Tierra del Páramo Rabanal-Río Bogotá y su Condición Frente a los Escenarios de Cambio Climático, Utilizando Sistemas de Información Geográfica Multitemporal Analysis of Land Cover of the Páramo Rabanal-Río Bogo, (12), 1–13.
- Jiménez, J., Rafael, O., García, D., Manuel, J., Rada, D., & Antonio, J. (2008). Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán I Recursos con potencial económico.
- La Manna, L., Carabelli, F., Gómez, M., & Matteucci, S. D. (2008). Disposición espacial de

- parches de *Austrocedrus chilensis* con síntomas de defoliación y mortalidad en el Valle 16 de Octubre (Chubut, Argentina). *Bosque*, 29(1), 23–32. <https://doi.org/10.4067/s0717-92002008000100003>
- Li, Z., Liu, W. zhao, Zhang, X. chang, & Zheng, F. li. (2009). Impacts of land use change and climate variability on hydrology in an agricultural catchment on the Loess Plateau of China. *Journal of Hydrology*, 377(1–2), 35–42. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.08.007>
- Ling, L., & Yusop, Z. (2014). A micro focus with macro impact: Exploration of initial abstraction coefficient ratio ( $\lambda$ ) in Soil Conservation Curve Number (CN) methodology. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 18(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/18/1/012121>
- Lopes, E., Marenzi, R. C., & de Almeida, T. C. M. (2018). Comparison of soil use in the infiltration of rainwater: Pasture and forest. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 71(3), 8593–8600. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v71n3.66134>
- López, V. (2014). Rediseño de la red meteorológica en el departamento de Cundinamarca, Colombia.
- Lu, Z., Zou, S., Qin, Z., Yang, Y., Xiao, H., Wei, Y., ... Xie, J. (2015). Hydrologic Responses to Land Use Change in the Loess Plateau: Case Study in the Upper Fenhe River Watershed. *Advances in Meteorology*, 2015(2013). <https://doi.org/10.1155/2015/676030>
- Mahmood, R., Pielke, R. A., Hubbard, K. G., Niyogi, D., Dirmeyer, P. A., Mcalpine, C., ... Fall, S. (2014). Land cover changes and their biogeophysical effects on climate. *International Journal of Climatology*. <https://doi.org/10.1002/joc.3736>
- Martínez, E., Coello, C., & Feyen, J. (2017). Análisis comparativo del comportamiento de la escorrentía de tres microcuencas andinas con diferente régimen de precipitación y cobertura vegetal. *Maskana*, 8(1), 129–144. <https://doi.org/10.18537/mskn.08.01.12>
- Minagricultura. (2013). OFERTA AGROPECUARIA. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRAFICA MUNICIPAL 2013.
- Montero Martínez, M. J., & Ibáñez Hernández, Ó. F. (2017). *La cuenca del río Conchos: una mirada desde las ciencias ante el cambio climático*.
- Morales-Hernández, J. C., Carrillo-González, F. M., Farfán-Molina, L. M., & Cornejo-López, V. M. (2016). Cambio de cobertura vegetal en la región de Bahía de Banderas, México. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 18(1), 7–16. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v18n1.57709>
- Navia, J., & Rivera Morales, L. (2016). *ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE COBERTURAS EN LA SUBZONA HIDROGRÁFICA ALTO RÍO CAUCA UTILIZANDO IMÁGENES SATELITALES LANDSAT*.
- Ojeda, W., Sifuentes, E., Iñiguez, M., & Montero, M. (2011). Impacto del cambio climático en el desarrollo y requerimientos hídricos de los cultivos. *Agrociencia*, 45, 1–11.
- Organizacion de las naciones unidas para la Alimentacion y Agricultura. FAO. (2007). Los bosques y el cambio climático. *FAONewsroom*.

- Ortiz Arenas, A. L., Ruiz Ochoa, M., & Rodríguez Miranda, J. P. (2017). Planificación y gestión de los recursos hídricos: una revisión de la importancia de la variabilidad climática. *Revista Logos, Ciencia & Tecnología*, 9(1). <https://doi.org/10.22335/rlct.v9i1.401>
- Pardos, J. A. (2010). *Los ecosistemas forestales y el secuestro de carbono ante el calentamiento global*. Instituto Nacional De Investigacion Y Tecnologia Agraria Y Alimentaria . <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.01879.x>
- Pearson. (2000). Coeficiente de correlación lineal de pearson, 1–20.
- Pérez-Muñoz, C., Brand, P. C., & Agudelo, L. C. (2017). Planes de acción de adaptación urbana y análisis de vulnerabilidad para Medellín: una propuesta para reducir los efectos del cambio climático desde la planificación territorial. *Gestión y Ambiente*, 20(2), 155–166. <https://doi.org/10.15446/ga.v20n2.67538>
- Pérez-Viloria, M., & Gónima, L. (2014). El contenido del vapor de agua de la atmósfera como indicador del calentamiento global en una zona del caribe de colombia. *Cuadernos de Investigacion Geografica*, 40(2), 477–495. <https://doi.org/10.18172/cig.2517>
- Pérez Viloria, M., & Gónima, L. (2014). El contenido del vapor de agua de la atmósfera como indicador del calentamiento global en una zona del caribe de Colombia. *Cuadernos de Investigacion Geografica*, 40(2), 477–495. <https://doi.org/10.18172/cig.2517>
- Pitman, A. J., De Noblet-Ducoudré, N., Avila, F. B., Alexander, L. V., Boisier, J. P., Brovkin, V., ... Voldoire, A. (2012). Effects of land cover change on temperature and rainfall extremes in multi-model ensemble simulations. *Earth System Dynamics*, 3(2), 213–231. <https://doi.org/10.5194/esd-3-213-2012>
- Rodríguez, N., Pabón, J. D., Bernal, N. R., & Martínez, J. (2010). *Cambio clim{ático} y su relaci{ón} con el uso del suelo en los Andes colombianos*. *Mtnforum.Org*. Retrieved from [http://www.mtnforum.org/sites/default/files/publication/files/cambio%7B\\_%7Dclimatico%7B\\_%7Duso%7B\\_%7Dsuelo%7B\\_%7Dandes%7B\\_%7Dcolombianos.pdf](http://www.mtnforum.org/sites/default/files/publication/files/cambio%7B_%7Dclimatico%7B_%7Duso%7B_%7Dsuelo%7B_%7Dandes%7B_%7Dcolombianos.pdf)
- Rosete, F., & Bocco, G. (2003). Los sistemas de información geográfica y la percepción remota. Herramientas integradas para los planes de manejo en comunidades forestales. *Gaceta Ecológica*, 68, 43–54.
- Roy-García, I., Rivas-Ruiz, R., Pérez-Rodríguez, M., & Palacios-Cruz, L. (2019). Correlation: Not all correlation entails causality. *Revista Alergia Mexico*, 66(3), 354–360. <https://doi.org/10.29262/ram.v66i3.651>
- Ruíz, A. A. B. (2015). No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における 健康関連指標に関する共分散構造分析Title, 3(2), 54–67.
- Ruiz Murcia, J. (2010). Cambio Climático En Temperatura Y Humedad Relativa Para Colombia Usando Modelos Meteorológicos De Alta Resolucion (Panorama 2011-2100). *IDEAM, I*, 91.
- Sacristán Romero, F. (2005). La Teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental. *Civilizar*, 5(9), 1. <https://doi.org/10.22518/16578953.701>
- Samboni, N. E., Aldemar, R., & Yesid, C. (2011). Aplicación de los indicadores de calidad y



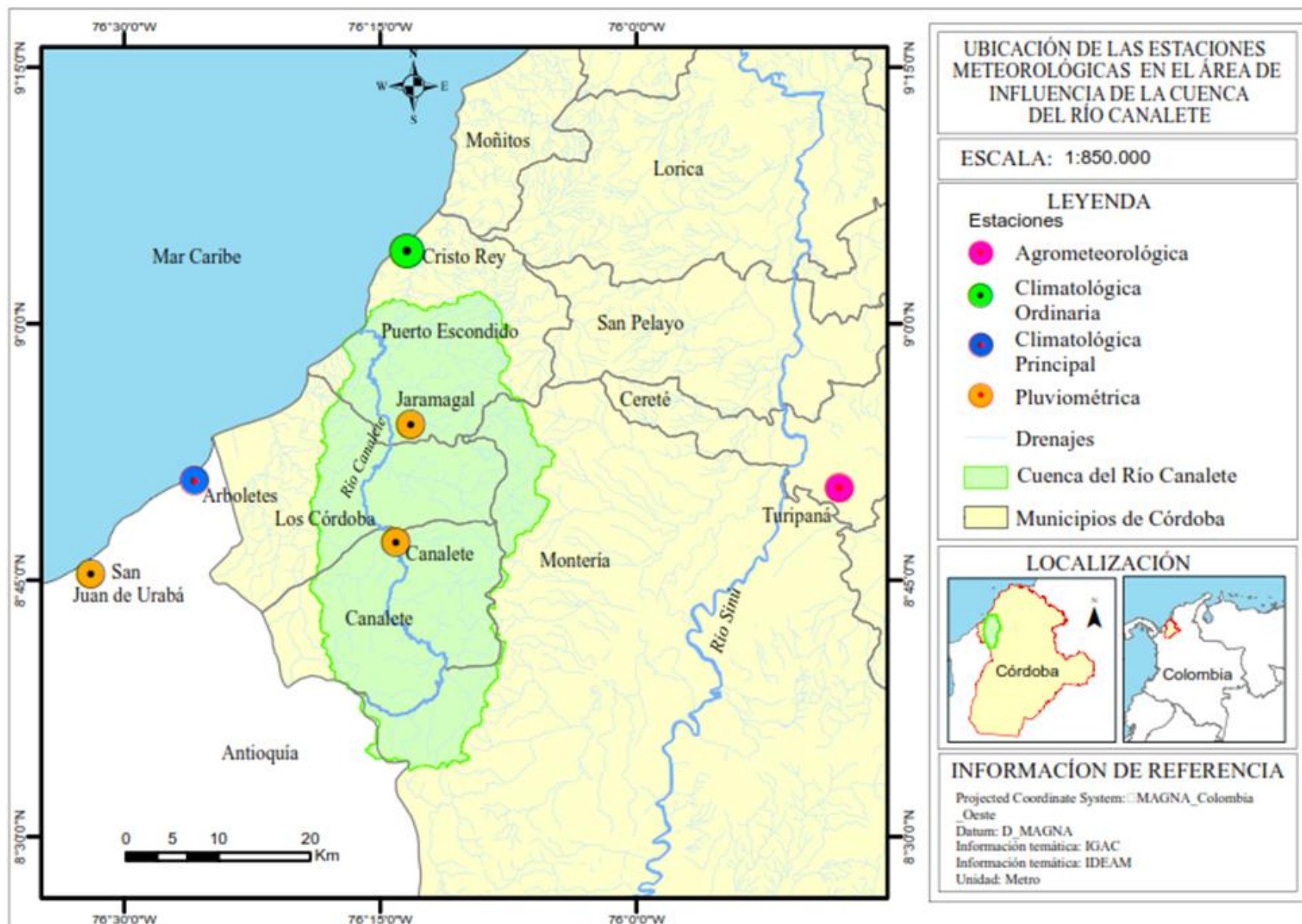
- contaminación del agua en la determinación de la oferta hídrica neta Application of the quality indicators and contamination of the water in the determination of net hydric supply. *Environmental Engineering*, 60(2), 49–60.
- Sánchez, H. A., Diakite Diakite, L., & Rufino Arteaga, J. (2020). Impacto del cambio de cobertura vegetal y del clima en la erosión del Nevado de Toluca. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 11(3), 342–368. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2020-03-10>
- Seingier, G., Espejel, I., & Fermán-Almada, J. L. (2009). Cobertura vegetal y marginación en la costa mexicana. *Investigación Ambiental*, 1(1), 54–69.
- Sepúlveda-Varas, A., Saavedra-Briones, P., & Esse, C. (2019). Análisis de cambio de cobertura y uso de suelo en una subcuenca preandina chilena. Herramienta para la sustentabilidad productiva de un territorio. *Revista de Geografía Norte Grande*, 2019(72), 9–25. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022019000100009>
- Solano, J. M., Henríquez, J. A. B., Fandiño, B. R., & Pico, G. A. (2014). Requerimientos hídricos de cuatro gramíneas de corte para uso eficiente del agua en el Caribe seco colombiano Water requirement of four cutting grasses water efficiency in the Colombian dry Caribbean region, 15, 83–99.
- Suárez-Parra, K. V., Cély-Reyes, G. E., & Forero-Ulloa, F. E. (2016). Validación de la metodología Corine Land Cover (CLC) para determinación espacio-temporal de coberturas: caso microcuenca de la quebrada Mecha (Cómbita, Boyacá), Colombia. *Biota Colombiana*, 17(1), 1–15. <https://doi.org/10.21068/c2016v17r01a01>
- Tian, L., Jin, J., Wu, P., & Niu, G. Y. (2018). Quantifying the impact of climate change and human activities on streamflow in a Semi-Arid Watershed with the Budyko Equation incorporating dynamic vegetation information. *Water (Switzerland)*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/w10121781>
- Torre, F. B. Y. D. La. (2017). Capítulo primero Los recursos hídricos en el mundo : cuantificación y - distribución Félix Blanco y de la Torre. *El Agua: ¿fuente de Conflicto o Cooperación?*, 21–70.
- Universidad de Carlos III de madrid. (2000). Análisis no paramétrico El procedimiento Pruebas no paramétricas.
- Useros, J. L. (2013). El cambio climático: Sus causas y efectos medioambientales. *An Real Acad Med Cir Vall*, 50, 71–98.
- Useros, L. (2012). El Cambio Climático: sus causas y efectos medioambientales. *Real Academia de Medicina y Cirugía de Valladolid*, 50, 71–98.
- Varga Linde, D., & Vila Subirós, J. (2005). Ecología del paisaje y sistemas de información geográfica ante el cambio socioambiental en las áreas de montaña mediterránea. Una aproximación metodológica al caso de los valles d'Hortmoier y Sant Aniol (Alta Garrotxa. Girona). *Revista Internacional de Ciencias Sociales*, 25, 59–72.
- WMO. (2011). *Guide to Climatological Practices WMO-No. 100*. (World Meteorological Organization, Ed.) (1st ed.). Ginebra.

- World Meteorological Organization. (2019). The Global Climate in 2015 - 2019. *World Meteorological Organization*, (1179), 32.
- Yaeger, M. A., Sivapalan, M., McIsaac, G. F., & Cai, X. (2013). Comparative analysis of hydrologic signatures in two agricultural watersheds in east-central Illinois: Legacies of the past to inform the future. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(11), 4607–4623. <https://doi.org/10.5194/hess-17-4607-2013>
- Zabaleta, A. J., Mercado, T., Marrugo, J. L., & Feria Diaz, J. J. (2018). Curve Number (CN) as Pressure Indicator of the Hydrological Condition under Global Warming Scenarios at a Local Scale in La Mojana Region, Colombia. *Indian Journal of Science and Technology*, 11(29), 1–12. <https://doi.org/10.17485/ijst/2018/v11i29/129276>
- Zaharia, L., Perju, R., & Ioana-Toroimac, G. (2018). Climate Changes and Effects on River Flow in The Romanian Carpathians, 211–218. [https://doi.org/10.24193/awc2018\\_25](https://doi.org/10.24193/awc2018_25)
- Zhang, H., Ling lei, Z., Li, J., Rui, D., & Deng, Y. (2018). Climate and Hydrological Change Characteristics and Applicability of GLDAS Data in the Yarlung Zangbo River Basin, China. <https://doi.org/10.3390/w10030254>

**ANEXOS**

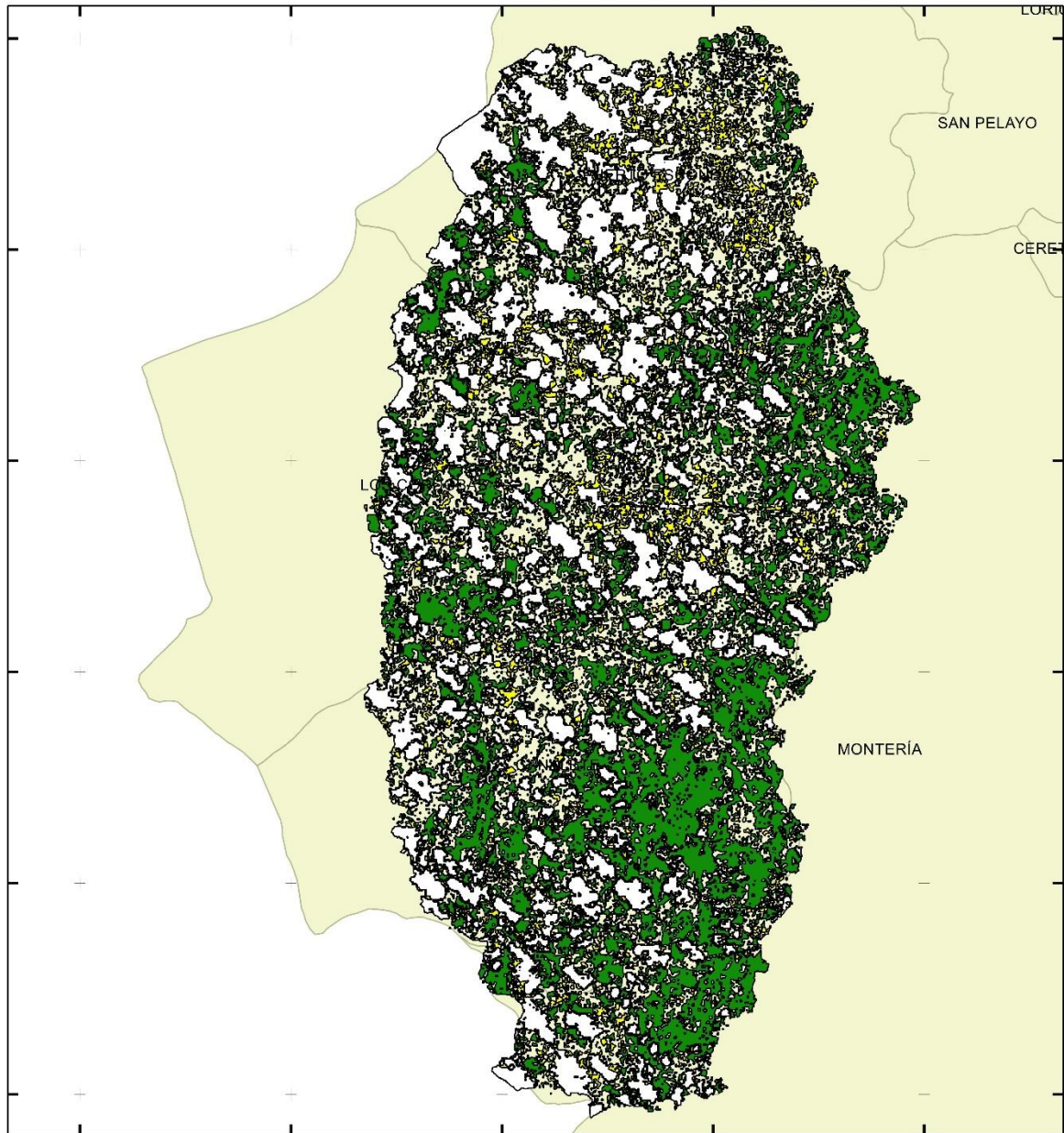
### **ANEXO 1.**



Mapa de ubicación de estaciones meteorológicas con influencia en la cuenca del río Canalete.



## **ANEXO 2.**

Mapas de variación temporal de las coberturas sobre la cuenca del río Canalete.




**REPÚBLICA DE COLOMBIA**  
**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA**  
**PROGRAMA MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**







**ANÁLISIS ESPACIO TEMPORAL DEL USO DEL SUELO Y SUS EFECTOS  
 EN EL CLIMA LOCAL Y LA OFERTA HIDRICA EN LA CUENCA DEL RÍO  
 CANALETE CÓRDOBA - COLOMBIA.**

**MAPA COBERTURAS DE LA CUENCA DEL RÍO CANALETE - AÑO 1973**

**LOCALIZACIÓN**





**Leyenda**

 Bosque	 Sombras y Nubes	 Dpto. Córdoba
 Pasto	 Vegetación Secundaria	

Montería , Córdoba, Colombia  
 ESCALA: 1:250.000

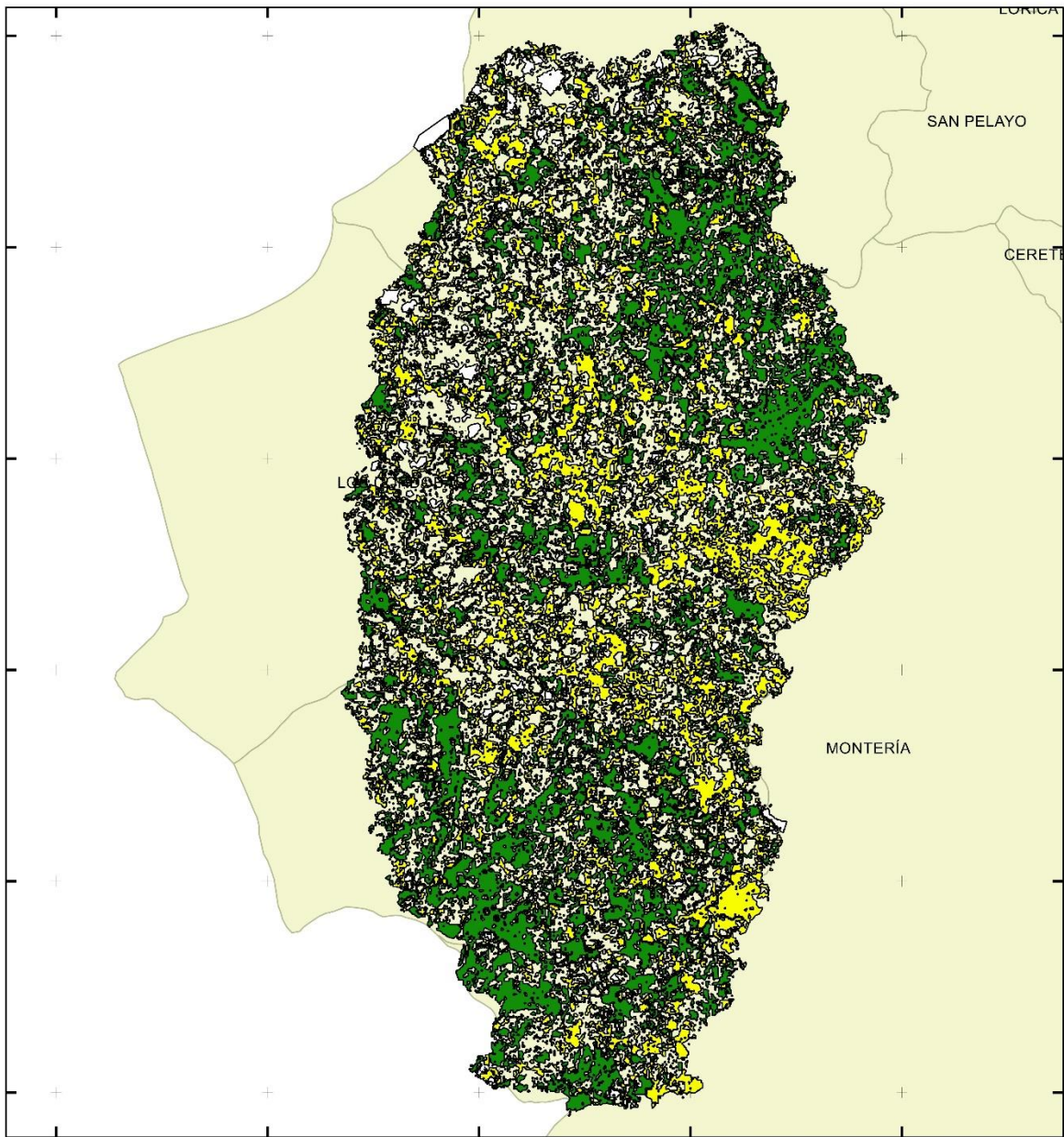
2.5   0   2.5   5   7.5   10 metros





**INFORMACIÓN DE REFERENCIA**

Sistema de Referencia: Magna Sirgas Colombia West  
 Zone  
 Referencia Cartográfica: IGAC, SIGOT, CVS  
 Autor:  
**NESTOR HERNANDO SUAREZ SOTO.**  
 Estudiante Maestría Ciencias Ambientales  
 Ingeniero Ambiental y Sanitario  
 Esp. Ingeniería Ambiental






**REPÚBLICA DE COLOMBIA**  
**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA**  
**PROGRAMA MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**







**ANÁLISIS ESPACIO TEMPORAL DEL USO DEL SUELO Y SUS EFECTOS  
 EN EL CLIMA LOCAL Y LA OFERTA HIDRICA EN LA CUENCA DEL RÍO  
 CANALETE CÓRDOBA - COLOMBIA.**

**MAPA COBERTURAS DE LA CUENCA DEL RÍO CANALETE - AÑO 1986**

**LOCALIZACIÓN**




**Leyenda**

 Bosque	 Sombras y Nubes	 Dpto. Córdoba
 Pasto	 Vegetación Secundaria	

Montería , Córdoba, Colombia  
 ESCALA: 1:250.000

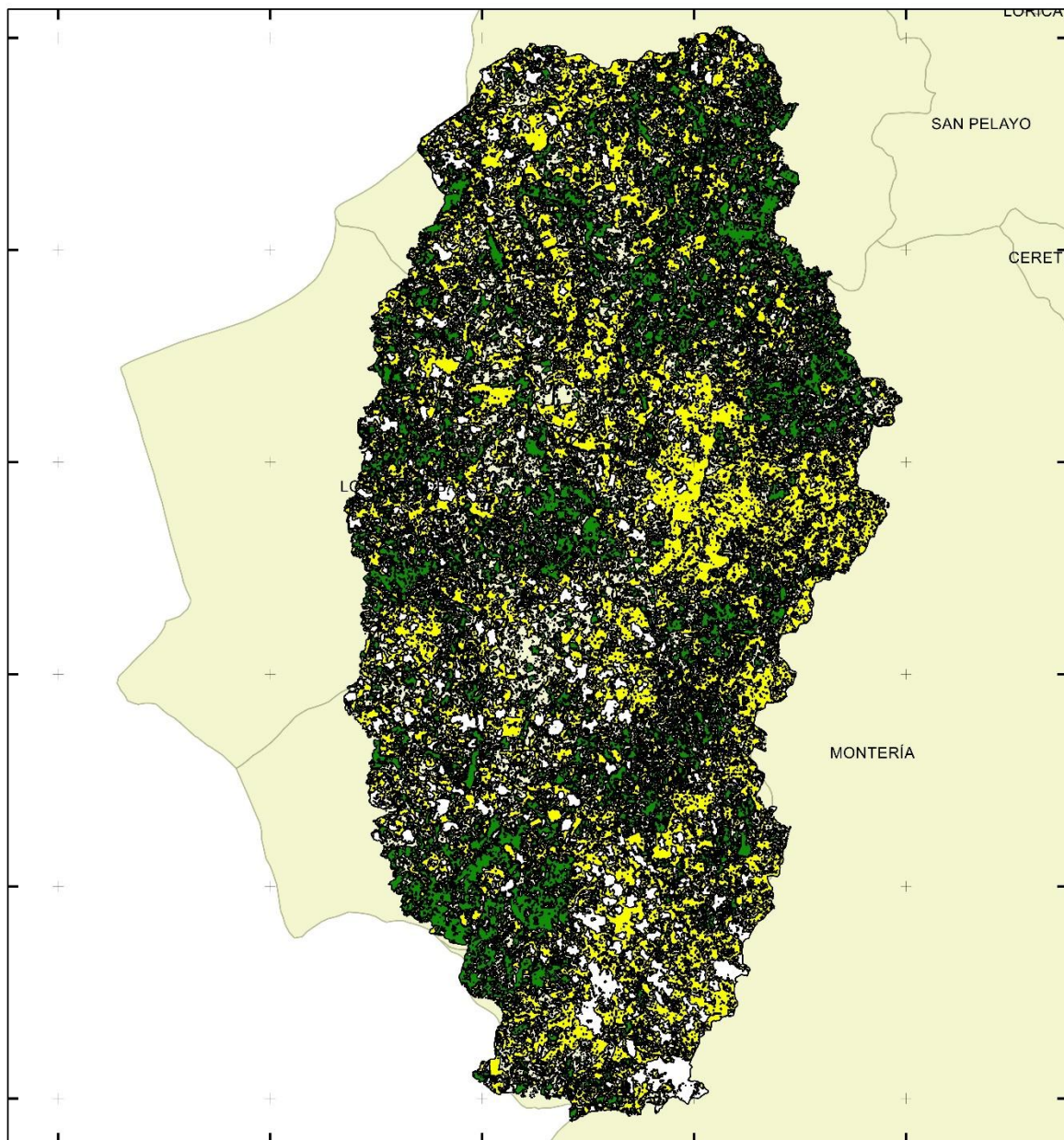
2.5 0 2.5 5 7.5 10 metros




**INFORMACIÓN DE REFERENCIA**


Sistema de Referencia: Magna Sirgas Colombia West  
 Zone  
 Referencia Cartográfica: IGAC, SIGOT, CVS  
 Autor:  
**NESTOR HERNANDO SUAREZ SOTO.**  
 Estudiante Maestría Ciencias Ambientales  
 Ingeniero Ambiental y Sanitario  
 Esp. Ingeniería Ambiental







REPÚBLICA DE COLOMBIA  
UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA  
PROGRAMA MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES








**ANÁLISIS ESPACIO TEMPORAL DEL USO DEL SUELO Y SUS EFECTOS  
EN EL CLIMA LOCAL Y LA OFERTA HIDRICA EN LA CUENCA DEL RÍO  
CANALETE CÓRDOBA - COLOMBIA.**

**MAPA COBERTURAS DE LA CUENCA DEL RÍO CANALETE - AÑO 1991**

**LOCALIZACIÓN**





**Leyenda**

 Bosque  Pasto	 Sombras y Nubes  Vegetación Secundaria	 Dpto. Córdoba
---	--	---

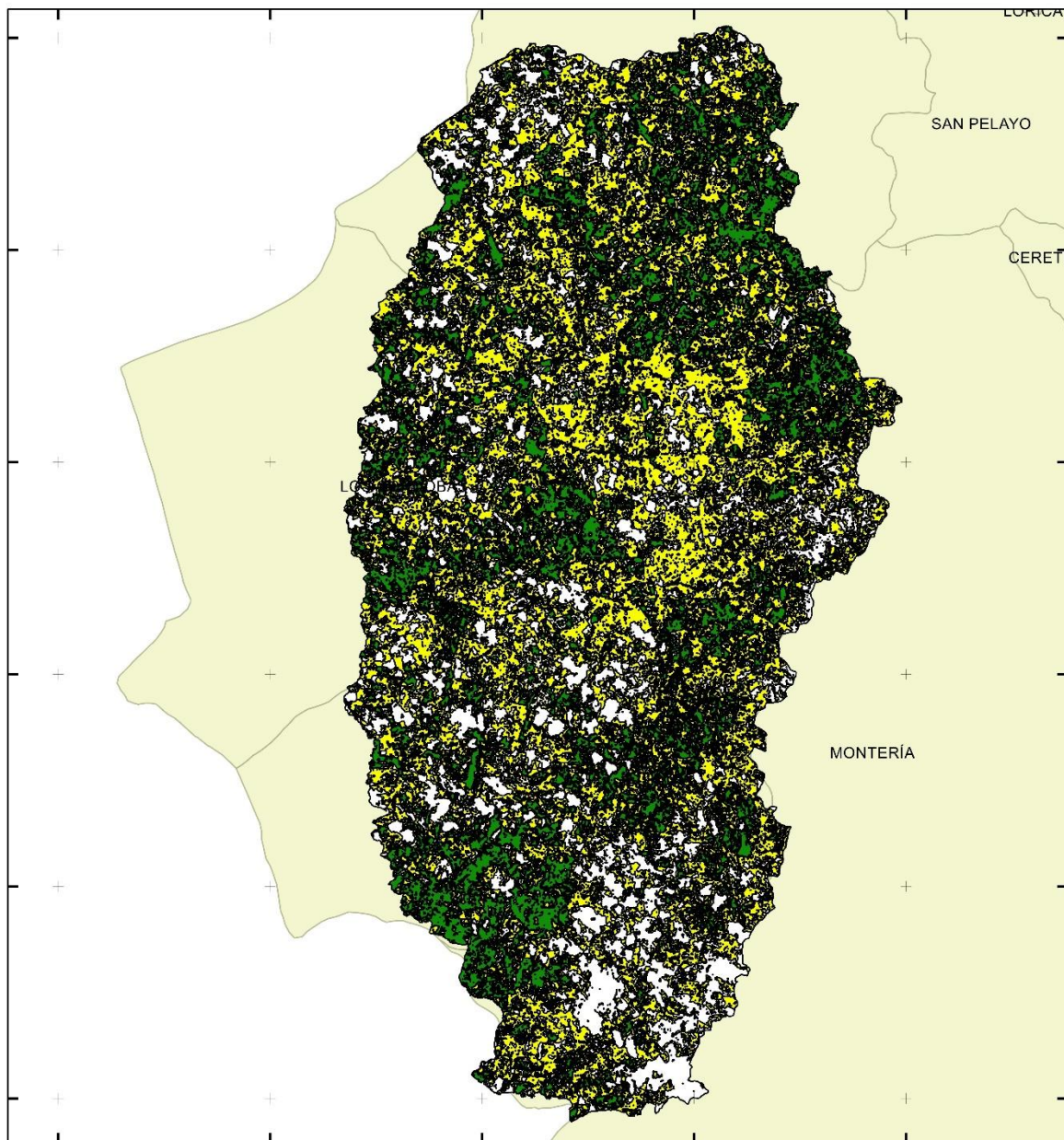
Montería , Córdoba, Colombia  
ESCALA: 1:250.000



2.5   0   2.5   5   7.5   10 metros



**INFORMACIÓN DE REFERENCIA**

Sistema de Referencia: Magna Sirgas Colombia West Zone  
 Referencia Cartográfica: IGAC, SIGOT, CVS  
 Autor:  
**NESTOR HERNANDO SUAREZ SOTO.**  
 Estudiante Maestría Ciencias Ambientales  
 Ingeniero Ambiental y Sanitario  
 Esp. Ingeniería Ambiental









**REPÚBLICA DE COLOMBIA**  
**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA**  
**PROGRAMA MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**


**ANÁLISIS ESPACIO TEMPORAL DEL USO DEL SUELO Y SUS EFECTOS  
 EN EL CLIMA LOCAL Y LA OFERTA HIDRICA EN LA CUENCA DEL RÍO  
 CANALETE CÓRDOBA - COLOMBIA.**

**MAPA COBERTURAS DE LA CUENCA DEL RÍO CANALETE - AÑO 2001**


**LOCALIZACIÓN**

**Leyenda**

 Bosque	 Sombras y Nubes	 Dpto. Córdoba
 Pasto	 Vegetación Secundaria	

Montería , Córdoba, Colombia  
 ESCALA: 1:250.000

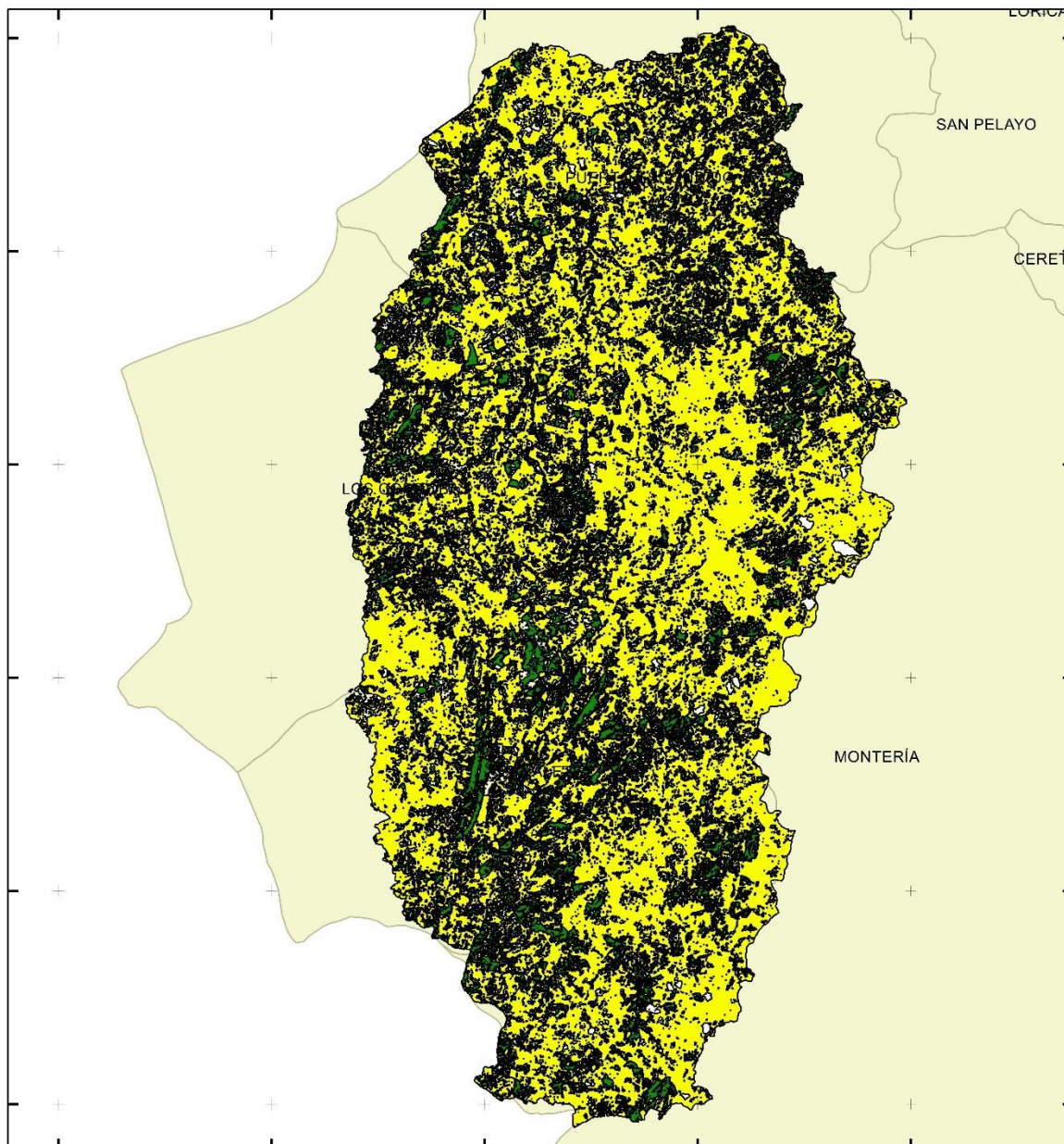
2.5 0 2.5 5 7.5 10 metros





**INFORMACIÓN DE REFERENCIA**

Sistema de Referencia: Magna Sirgas Colombia West  
 Zone  
 Referencia Cartográfica: IGAC, SIGOT, CVS  
 Autor:  
**NESTOR HERNANDO SUAREZ SOTO.**  
 Estudiante Maestría Ciencias Ambientales  
 Ingeniero Ambiental y Sanitario  
 Esp. Ingeniería Ambiental











**REPÚBLICA DE COLOMBIA**  
**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA**  
**PROGRAMA MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**


**ANÁLISIS ESPACIO TEMPORAL DEL USO DEL SUELO Y SUS EFECTOS  
 EN EL CLIMA LOCAL Y LA OFERTA HIDRICA EN LA CUENCA DEL RÍO  
 CANALETE CÓRDOBA - COLOMBIA.**

**MAPA COBERTURAS DE LA CUENCA DEL RÍO CANALETE - AÑO 2017**

**LOCALIZACIÓN**

**Leyenda**

 Bosque	 Sombras y Nubes	 Dpto. Córdoba
 Pasto	 Vegetación Secundaria	

Montería , Córdoba, Colombia  
 ESCALA: 1:250.000

2.5 0 2.5 5 7.5 10 metros

**INFORMACIÓN DE REFERENCIA**

Sistema de Referencia: Magna Sirgas Colombia West  
 Zone  
 Referencia Cartográfica: IGAC, SIGOT, CVS  
 Autor:  
**NESTOR HERNANDO SUAREZ SOTO.**  
 Estudiante Maestría Ciencias Ambientales  
 Ingeniero Ambiental y Sanitario  
 Esp. Ingeniería Ambiental